ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 21 JANVIER 1918.

PRÉSIDENCE DE M. Léon GUIGNARD.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Influence des sels métalliques sur la germination en présence de calcium.* Note de MM. **L. Maquenne** et **E. Demoussy**.

Dans une précédente Note ([1]) nous avons démontré que les graines de pois en germination sont moins sensibles à l'action nocive des métaux lourds qu'à l'influence favorisante du calcium. Cette conclusion paraissant en désaccord avec les idées régnantes au sujet de la toxicité du cuivre, nous avons cru devoir répéter nos essais en nous plaçant dans les mêmes conditions que les auteurs qui nous ont précédés, c'est-à-dire en faisant usage d'eau légèrement séléniteuse, comparable par sa richesse en calcium à celle qu'on obtient par distillation et stérilisation dans le verre.

Les expériences rapportées ci-après ont été faites comme il a été dit antérieurement, c'est-à-dire par séries de 10 graines (pois), disposées dans des soucoupes de porcelaine sur 40^{g} de sable, humecté de 10^{cm^3} de liquide, eau pure ou solution. Dans la moitié des germoirs les substances actives étaient additionnées d'une quantité constante de sulfate de calcium, soit $0^{mg},5$ pour 10 graines; dans les expériences relatives au strontium et au baryum, ce sel a été remplacé par la quantité équivalente de chlorure.

Le calcium était ainsi offert à la jeune plante sous forme de solution à environ 15 millioniėmes : c'est une concentration qui, vu l'extrême activité de ce métal, peut paraître un peu forte, mais on remarquera que, le volume total du liquide étant limité à 10^{cm^3} par soucoupe, la quantité absolue de

---

([1]) *Comptes rendus*, t. 165, 1917, p. 45.

calcium qui s'y trouve mise à la disposition de chaque plantule ne représente qu'une très faible fraction, environ $\frac{1}{8500}$, du poids de la graine sèche initiale.

Les substances actives ont été employées en proportions variables, généralement inférieures à celles reconnues comme toxiques dans l'eau exempte de chaux; ces proportions sont indiquées dans le Tableau suivant en milligrammes pour 10 graines; les longueurs des racines, exprimées en millimètres, sont la moyenne de 20 mesures effectuées après 6 jours de germination. Le premier nombre est relatif à la culture sans calcium, le second à la culture en présence de $0^{mg},5$ de $CaSO^4$ ou $0^{mg},4$ de $CaCl^2$.

Pour chacun des sels essayés, les expériences avec et sans calcium ont été conduites simultanément, par conséquent à la même température (18° à 23° suivant les séries) et dans des conditions aussi identiques que possible; toutes les solutions ont été préparées dans le quartz, avec de l'eau pure conservée dans le platine.

NaCl	0	10	20	50
Longueur des racines	20-64	34-48	29-43	30-38
KCl	0	10	20	50
Longueur des racines	28-75	33-51	33-45	31-31
Am^2SO^4	0	10	20	50
Longueur des racines	26-79	34-49	34-40	26-30
$SrCl^2$	0	1	2	5
Longueur des racines	24-75	34-65	35-54	30-45
$BaCl^2$	0	0,25	0,5	1
Longueur des racines	24-69	28-71	29-68	24-64
$MgSO^4$	0	2	5	10
Longueur des racines	23-68	24-47	25-38	25-37
$ZnSO^4$	0	0,1	0,25	0,5
Longueur des racines	26-75	28-72	28-63	30-59
$MnCl^2$	0	1	2	5
Longueur des racines	25-77	33-70	37-69	39-56
$PbCl^2$	0	0,1	0,25	0,5
Longueur des racines	26-76	25-80	26-65	26-47
$CuSO^4$	0	0,1	0,25	0,5
Longueur des racines	25-64	26-51	25-41	20-26

De l'examen de ces chiffres il ressort nettement que la présence d'un sel quelconque, en proportion voisine de sa dose nuisible dans l'eau pure, gêne et amoindrit l'action favorable qu'exerce le calcium lorsqu'il est seul. En

effet, à part seulement deux exceptions, de peu d'importance et vraisemblablement fortuites, qui s'observent pour le chlorure de baryum, à la dose de $0^{mg},025$ par graine, et le chlorure de plomb, à la dose de $0^{mg},01$, l'allure de la courbe qui représente la longueur des racines en fonction du poids de matière active employée est partout la même : en présence de calcium toujours descendante, en son absence ascendante ou horizontale à l'origine, suivant que le métal est favorable, comme Sr, Mn et les métaux alimentaires, ou toxique, comme Pb et Cu.

L'effet est particulièrement net avec le sulfate de cuivre qui, à la dose de $0^{mg},01$ ou $0^{mg},025$ par graine, n'agit pas défavorablement lorsqu'il est seul, tandis qu'il réduit la longueur des racines d'un quart et d'un tiers en présence de $0^{mg},05$ de sulfate de chaux; dans les mêmes conditions, mais en proportion double, avec $0^{mg},05$, le même composé, peu actif dans l'eau pure, devient encore plus nuisible, tellement qu'il arrive à compenser d'une façon presque exacte l'action favorisante de la chaux qui l'accompagne.

Le rôle protecteur que joue le calcium vis-à-vis du cuivre a donc sa réciproque, et il est évident que c'est parce qu'on a toujours opéré jusqu'ici dans des milieux plus ou moins chargés de chaux que le cuivre a été considéré comme plus toxique qu'il ne l'est en réalité. Et il est bien curieux de voir que le plomb, le zinc et, à une dose en vérité 100 à 200 fois plus forte, le potassium, l'ammonium et le magnésium se comportent exactement de la même manière que le cuivre. La compensation dont nous venons de parler est totale dans le cas du chlorure de potassium à la dose de 5^{mg} par graine, elle est presque exactement réalisée avec le même poids de sulfate d'ammoniaque et l'on ne voit guère de raison pour qu'il en soit autrement avec les sels que nous n'avons pas expérimentés. Il s'agit donc là d'un phénomène d'ordre tout à fait général, ce qui nous autorise à dire que les différents métaux, toxiques ou alimentaires, peu importe, fonctionnent au cours de la germination comme antagonistes du calcium, au même titre et sans doute pour les mêmes raisons que le calcium fonctionne à leur égard comme antitoxique.

Cette action antitoxique, déjà reconnue depuis longtemps sur le cuivre et le magnésium, et signalée plus récemment par Mlle Th. Robert vis-à-vis du potassium et de l'ammonium, semble d'ailleurs être absolument générale, tant que la dose de matière active ne dépasse pas une certaine limite qui n'a été atteinte dans aucune des expériences précédentes.

Il résulte de là, ce qui est d'acord avec toutes les observations faites avant nous, que l'action physiologique d'un mélange est loin d'être égale à la

somme des actions que chacun de ses composants exercerait s'il était seul, et aussi cette conséquence, à première vue paradoxale et complètement inattendue, que les métaux actifs paraissent plus toxiques en présence de chaux que dans l'eau pure.

Ce sont là des considérations fondamentales dont il sera désormais nécessaire de tenir compte dans toutes les recherches semblables à celles qui nous occupent ici. Nous venons de voir qu'il peut, si on les néglige, en résulter des erreurs dans l'évaluation de la toxicité d'un sel, l'obligation déjà signalée par nous de ne faire usage dans ces travaux que d'eau pure et de vases inattaquables par l'eau en découle tout naturellement.

Disons en terminant que, d'après les quelques observations que nous avons pu faire sur d'autres espèces de graines, le blé se comporte exactement de la même manière que les pois, notamment par son extraordinaire sensibilité à l'influence du calcium qui, pour une graine récoltée l'année précédente et à la dose de $0^{mg},005$ de sulfate seulement, augmente des deux tiers en six jours la longueur des racines qui se forment pendant le même temps dans l'eau pure.

THÉRAPEUTIQUE. — *De quelques modifications au traitement de la tuberculose pulmonaire par les inhalations antiseptiques.* Note (¹) de MM. **Charles Richet**, **P. Brodin** et **F. Saint-Girons**.

Les méthodes d'inhalations médicamenteuses que nous avons mises en œuvre (à l'hôpital militaire de la Côte Saint-André, Isère) dans la tuberculose ouverte diffèrent des méthodes usitées à présent, moins peut-être dans leur emploi isolément considéré que dans le groupement des quatre dispositions suivantes, que nous croyons pourtant à peu près nouvelles (²) :

1° Nous faisons inhaler aux malades une vapeur antiseptique *anhydre*. L'air passe sur le corps antiseptique, lequel est dissous dans l'huile de vaseline, et non dans l'eau, de sorte que l'air qui arrive aux poumons est de l'air sec et non de l'air humide (défavorable). Cet air peut être chauffé, en chauffant l'excipient vaseline, de sorte que l'inhalation est celle d'un air sec et chaud.

(¹) Séance du 14 janvier 1918.

(²) On trouve, dans l'*Index Catalogue*, de Washington, sur cette question des inhalations, 294 indications bibliographiques (1re série, t. 6, 1885, p. 883-886; 2e série, t. 7, 1902, p. 985-986).

2° La graduation de la dose inhalée se fait *par la température de l'huile dissolvante*, plus que par le titre de la solution. Pour peu que la solution soit au-dessous de 2 pour 100, la quantité de substance antiseptique qui se volatilise est proportionnelle à sa tension de vapeur, c'est-à-dire à la température plutôt qu'à la teneur de la dissolution.

3° L'inspiration se fait par l'intermédiaire d'une soupape de Müller. Nous avons fait construire des soupapes de Müller spéciales tout en verre, sans aucun ajutage. Le diamètre des tubes d'inspiration ou d'aspiration est assez grand (2^{cm}) pour que chaque inspiration soit *rapide et totale*, ne nécessitant aucun effort (pression de 2^{cm} de vaseline), de sorte qu'en une, ou deux, ou trois secondes, tout l'air inspiré peut passer par la solution antiseptique.

4° Nous employons les antiseptiques en *alternance*. Le malade ne respire jamais deux fois de suite le même antiseptique (sauf dans quelques cas particuliers),

Les antiseptiques dont nous nous sommes servis ont été créosote, camphre, phénol, goménol, iodoforme, térébenthine. Mais, bien entendu, la méthode est applicable à tous les antiseptiques volatils.

Il nous a semblé que le camphre inhalé activement provoquait un état vertigineux, et que le phénol amenait une sécheresse pénible dans l'arrière-gorge. La créosote et le goménol nous ont donné les meilleurs résultats. Nous n'avons employé l'iodoforme qu'avec réserve, et le formol avec plus de réserve encore; car il est très irritant. La térébenthine est très vite volatilisée.

La durée des inhalations était en général de 2 heures : 1 heure le matin, 1 heure le soir, et jamais nous n'avons constaté de troubles ni d'accidents.

En procédant ainsi, nous avons vu, chez quelques malades assez gravement atteints, survenir une prompte amélioration de l'état général : augmentation de l'appétit, accroissement du poids et de la force musculaire mensurée au dynamomètre, diminution de l'expectoration et de la toux. Quant à l'évolution de la maladie, il est impossible d'en parler avec quelque autorité, car le mot de guérison ne peut pas se prononcer au bout de deux mois de traitement. Mais quelquefois l'amélioration en deux mois fut rapide et éclatante.

Si nous publions cette Note sommaire, c'est parce qu'à l'heure présente, malgré toutes les recherches faites, la méthode des inhalations, qui n'a

d'ailleurs jamais été pratiquée comme nous venons de le dire, est très rarement employée. Et cependant elle paraît, si elle est méthodiquement instituée, destinée à rendre de réels services dans le traitement de la tuberculose pulmonaire.

SPECTROSCOPIE. — *Recherches sur le spectre de lignes du titane et sur ses applications.* Note de M. **A. de Gramont.**

Poursuivant par des méthodes déjà exposées ici [1] la recherche systématique des raies ultimes dans les spectres de dissociation des éléments, je suis arrivé à l'étude de métaux qui, pour la plupart, présentent un intérêt industriel, notamment par leur emploi dans les aciers spéciaux. Les oxydes supérieurs de ces métaux, titane, zirconium, vanadium, colombium, tantale, molybdène, tungstène, offrent les caractères d'anhydrides susceptibles de former de véritables sels alcalins. Ceux-ci, mélangés intimement et en faibles proportions décroissantes, dans les carbonates alcalins correspondants : Li^2CO^3, Na^2CO^3, K^2CO^3, mis en fusion dans une cuiller de platine (*fig.* 2) et soumis à l'action de l'étincelle condensée, m'ont permis de reconnaître les raies ultimes de ces métaux, aussi bien qu'avec l'étincelle jaillissant directement entre deux fragments (*fig.* 1) des divers aciers spéciaux qui m'ont été remis [2].

Nous étudierons d'abord les raies de plus grande sensibilité du titane, puis celles du colombium (niobium), car le spectre de ce métal contient toujours, plus ou moins développé, celui du titane dont il est à peu près impossible de le débarrasser complètement, comme l'indique la figure 2 de la planche I.

---

(1) Voir *Comptes rendus* : t. 144, 21 mai 1907, p. 1101; t. 146, 15 juin 1908, p. 1260; t. 150, 3 et 17 janvier 1910, p. 37 et 154; t. 151, 25 juillet 1910, p. 308; t. 155, 22 juillet 1912, p. 276; t. 159, 6 juillet 1914, p. 5, et aussi *Annales de Chimie et de Physique*, août 1909; *Annales de Chimie*, mai-juin 1915.

(2) Je tiens à adresser ici tous mes remercîments à notre savant correspondant M. Georges Charpy, à la Compagnie de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons, aux Établissements Jacob Holtzer, aux Aciéries et Forges de Firminy, pour avoir bien voulu m'envoyer des échantillons de métaux analysés dans leurs laboratoires. Sous l'initiative et la direction de M. P. Nicolardot, ces méthodes ont été mises en service au laboratoire de Chimie de la Section technique de l'Artillerie. Entre les mains expérimentées de M. de Watteville, elles y donnent toute satisfaction pour le contrôle des analyses chimiques.

Pour chaque élément étudié, les spectres ont été pris avec deux appareils : un spectrographe à deux prismes en crown uviol, à objectif de chambre de 52^{mm} d'ouverture et 852^{mm} de foyer pour la raie [F], bleue, de l'hydrogène, et un spectrographe à un prisme de quartz Cornu, et objectifs de quartz de 400^{mm} de foyer pour les raies [D] du sodium. La région la plus intéressante au point de vue des applications s'est trouvée presque toujours, pour les métaux considérés, celle que donne le premier de ces appareils qui présente l'avantage d'une plus forte dispersion. Elle comprend tout le visible et une partie de l'ultraviolet jusqu'à $\lambda 3170$.

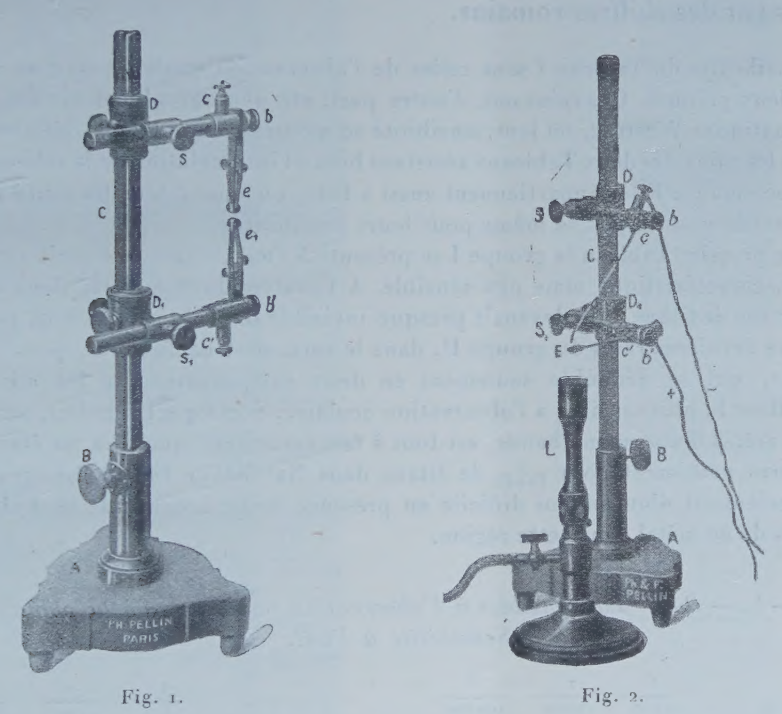


Fig. 1. Fig. 2.

L'étincelle employée était due à la décharge d'un condensateur d'une capacité totale de 0,0232 microfarad, intercalé dans le secondaire, comprenant 45000 tours, d'une bobine d'induction fonctionnant en transformateur du courant alternatif de la ville, sans rupteur ni capacité dans le primaire. D'autre part, une self de 0,009 henry pouvait être, à volonté, placée dans le circuit de décharge du condensateur du secondaire. J'ai reconnu avantageux pour la recherche des métaux qui nous occupent d'employer de fortes étincelles, sans self.

Le même support à tiges isolantes horizontales d'ébonite sert, soit pour l'étincelle directe entre composés conducteurs en $e\ e_1$ (*fig.* 1), soit pour

l'étincelle sur les sels en fusion (*fig.* 2), contenus en E dans une cuiller de platine de 20^{mm} de diamètre et 5^{mm} de profondeur; un gros fil de platine *c*E amène l'étincelle au-dessus du mélange fondu.

Les Tableaux qui suivent donnent en unités internationales, et d'après les valeurs de M. Kilby (*Astrophys. Journ.*, t. 30, 1909), les raies persistantes du titane dans les mélanges salins, pour une proportion déterminée de métal introduit à l'état de sel ou d'anhydride. Mes mesures, faites pour l'identification, de ces longueurs d'ondes ont été obtenues à 0,1 ou 0,2 U.A. près. Afin de simplifier les commentaires, les raies on été réparties en groupes désignés par des chiffres romains.

Les sensibilités du Tableau I sont celles de l'observation oculaire avec un spectroscope à deux prismes. Ces raies ont, d'autre part, été photographiées sur des plaques panchromatiques Wratten, où leur sensibilité se montrait notablement inférieure.

Toutes les raies des deux Tableaux résistent bien à l'intercalation de la self-induction dans le secondaire. Elles appartiennent aussi à l'arc, où leurs intensités sont à peu près conservées; il n'en est pas de même pour leurs sensibilités.

Dans le premier Tableau le groupe I se présente à l'œil comme une seule raie rouge très vive, caractéristique mais peu sensible. A l'analyse directe, forte dans un acier à 10 pour 100 de titane, elle devenait presque invisible dans un acier à 0,94 pour 100. Les quatre dernières raies du groupe II, dans le vert, sont confondues, pour l'œil, en une seule, qui se dédouble seulement en deux composantes sur les clichés. Le groupe III est le plus sensible à l'observation oculaire. Son aspect régulier, analogue à celui des arêtes d'une même bande, est tout à fait caractéristique. Il a pu être photographié très nettement pour $\frac{6}{10000}$ de titane dans Na^2CO^3 en fusion. Les groupes II, III, IV deviennent d'un emploi difficile en présence du fer à cause de la multiplicité des lignes de ce métal dans cette région.

Titane. — I. — *Raies plus sensibles à l'observation oculaire qu'à la photographie.*
Sensibilité à l'œil.

	λ.	$\frac{1}{1000}$.	$\frac{1}{10000}$.	$\frac{5}{100000}$.
I.	6261,10...	?		
	6258,71...	?		
	6258,11...	?		
II.	5226,56...	?	...	...
	5210,39...	+	...	...
	5192,97...	+	...	...
	5173,74...	?	...	...
	5064,66...	+	...	...
	5039,96...	+	...	...
	5038,41...	+	...	...
	5036,47...	+	...	...
	5035,92...	+	...	...
III.	5014,26.	+	+	+
	5007,22.	+	+	+
	4999,51.	+	+	+
	4991,08.	+	+	+
	4981,75.	+	+	+
IV.	4913,63.	+	..	..
	4899,93.	+	..	..
	4885,09.	+	..	..
	4870,14.	+	..	..
	4856,01.	+	..	..
	4840,88.	+	..	..
V.	4533,25.	+	..	..

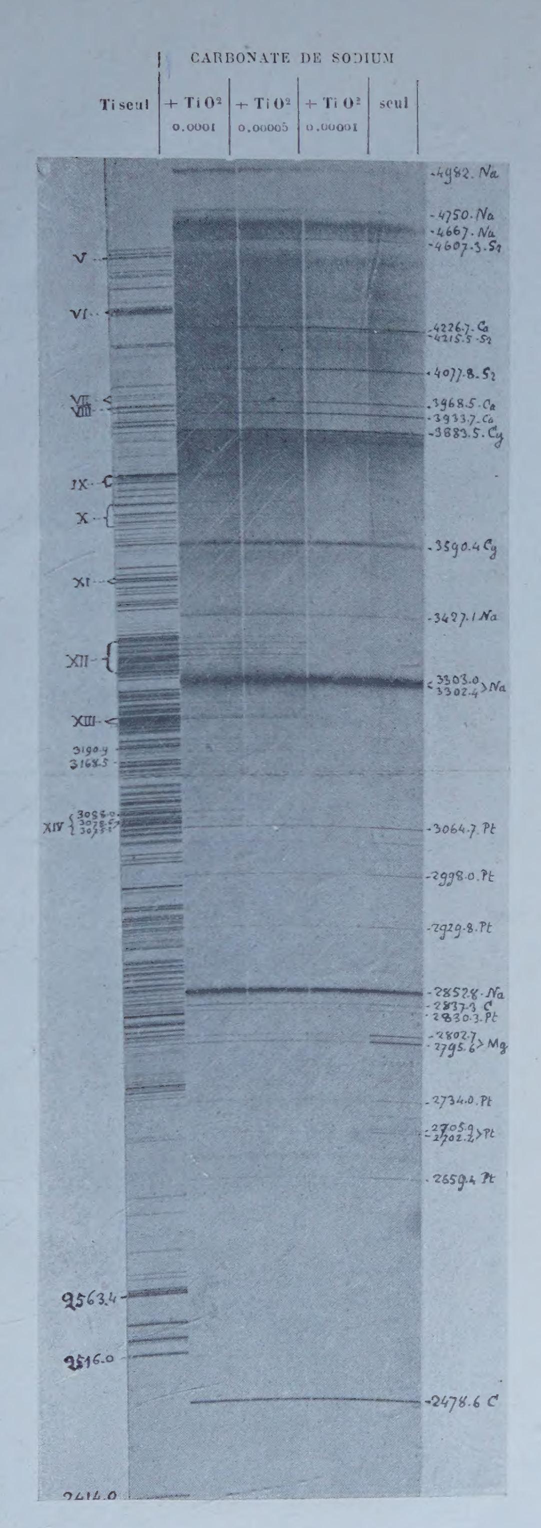


Fig. 1. — Spectre d'étincelle du carbonate de sodium en fusion, seul, puis additionné de teneurs croissantes d'anhydride titanique, en coïncidence avec le spectre du titane. Spectrographe à un prisme en quartz.

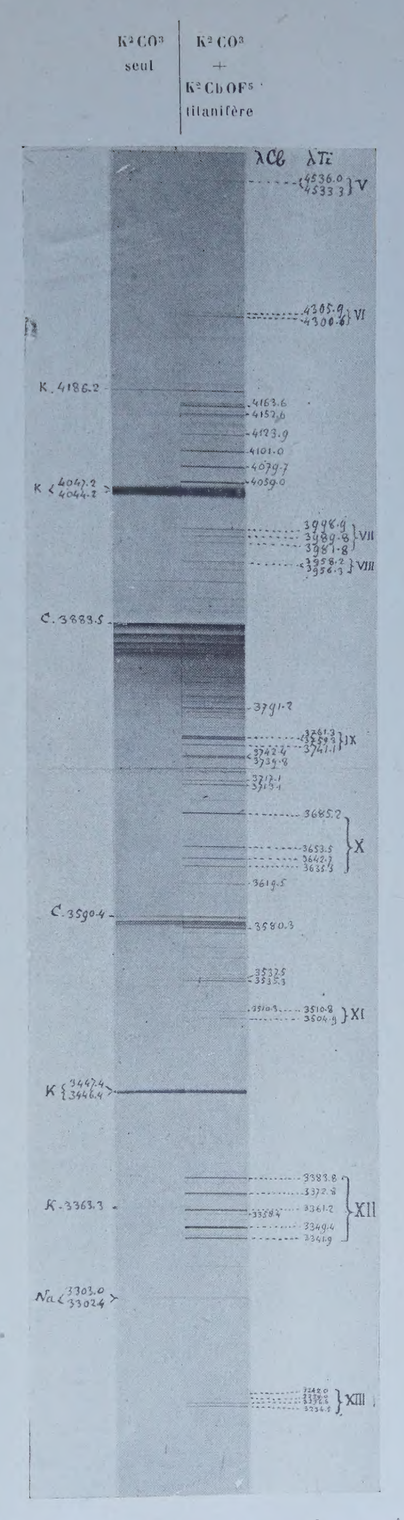


Fig. 2. — Spectre d'étincelle du carbonate de potassium en fusion, seul, puis additionné de $\frac{1}{100}$ d'oxyfluorure de colombium et de potassium contenant des traces de titane. Spectrographe à deux prismes en crown uviol.

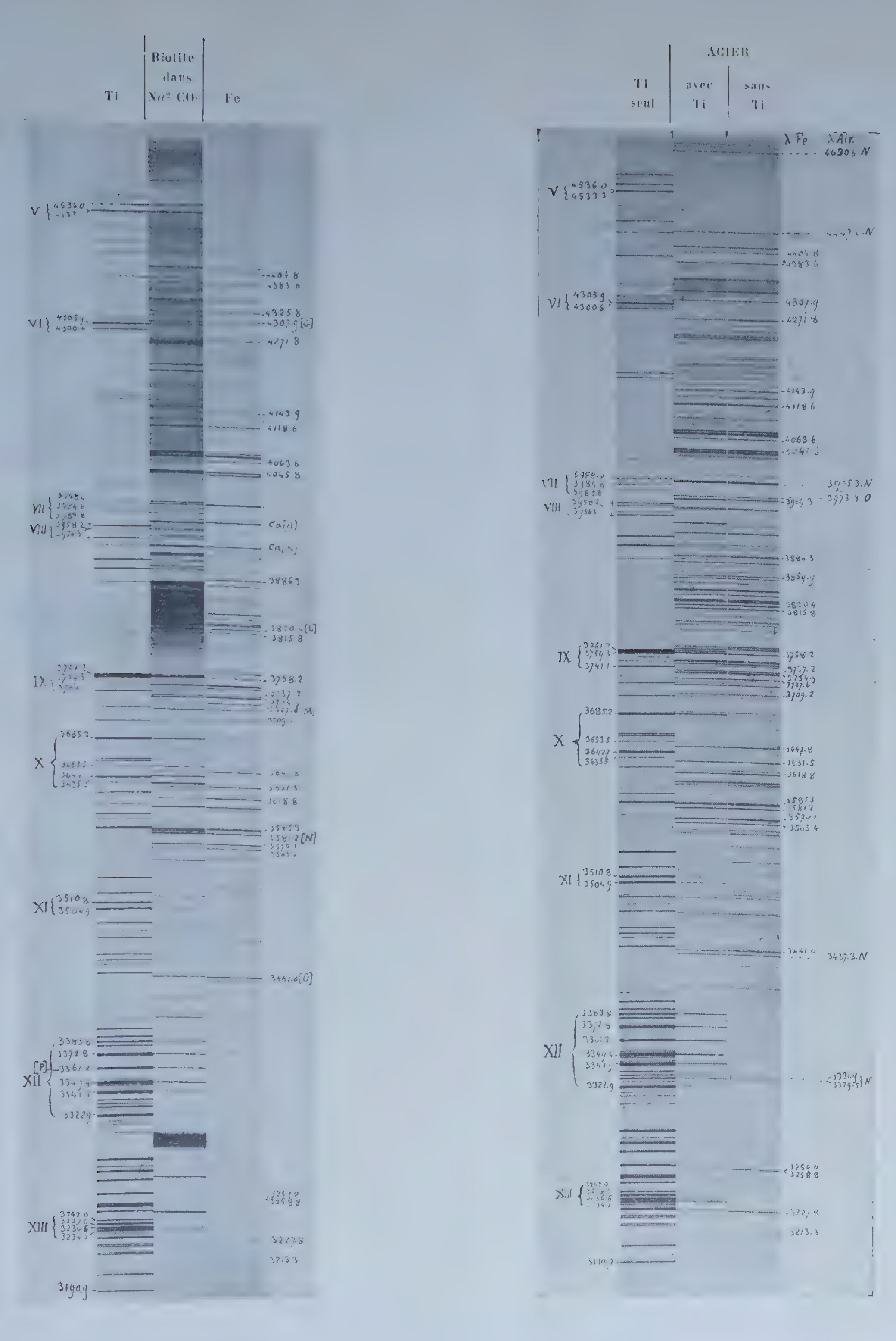


Fig. 3. — Spectre d'étincelle du carbonate de sodium en fusion additionné d'environ 11 pour 100 de mica biotite entre le spectre du fer et celui du titane. Spectrographe à deux prismes en crown uviol.

Fig. 4. — Spectre d'étincelle directe d'un acier à 0,94 pour 100 de titane entre le spectre du titane et celui d'un acier sans titane. Spectrographe à deux prismes en crown uviol.

TITANE. — II. — *Sensibilité photographique des raies.*

	λ	$\frac{1}{1000}$.	$\frac{1}{10000}$.	$\frac{8}{100000}$.	$\frac{4}{100000}$.	$\frac{2}{100000}$.	$\frac{1}{100000}$.
V.	4536,00..	+	+	..	..	..	..
	4534,78..	?	..	..	..	..	..
	4533,25..	+	+	..	..	..	..
VI.	4305,91..	+	+	..	..	..	..
	4300,56..	+	+	..	..	..	..
VII.	3998,85..	+	+	+	..	..	..
	3989,77..	+	+	+	..	..	..
	3981,77..	+	+	+	..	..	..
VIII.	3958,21..	+	+	+	..	..	..
	3956,28..	+	+	+	..	..	..
	3948,66..	+	..	..	..	..	..
	3947,75..	+	..	..	..	..	..
IX.	3761,32..	+	+	+	..	..	..
	3759,30..	+	+	+	..	..	..
	3741,14..	+	+	+	..	..	..
X.	3685,19..	+	+	+	+	..	..
	3653,49..	+	+	+	+	..	..
	3642,68..	+	+	+	+	..	..
	3635,47..	+	+	+	+	..	..
XI.	3510,84..	+	?	..	..	..	..
	3504,89..	+	+	?	..	..	..
XII.	3394,57..	?	..	..	..	..	..
	3383,76..	+	+	+	?	..	..
	3372,80..	+	+	+	+	+	..
	[P] 3361,22..	+	+	+	+	+	.
	3349,41..	+	+	+	+	+	+
	3349,02..	+	+	+	?	..	..
	3341,87..	+	+	+	?	..	.
	3322,93..	+	..	..	..	..	..
XIII.	3241,97..	+	?	..	..		
	3239,03..	+	?	..	..		
	3236,57..	+	+	..	..		
	3234,52..	+	+	..	..		
	3190,87..	+	..	..	..		
	3168,52..	+	..	..	..		
XIV.	3088,03..	+	+	+	?		
	3078,64..	+	+	+	?		
	3075,22..	+	..				
	2563,42..	+	?				
	2516,01..	+	?				

Dès 1895, j'avais fait connaître la présence des raies, données par le Tableau I, dans les spectres d'analyse directe des minéraux titanifères.

Les groupes de raies du Tableau II, obtenues par la photographie avec les plaques d'emploi courant, pourront être facilement reconnus sur les quatre reproductions de spectres des planches hors texte. Les trois raies à peu près équidistantes du groupe VII sont plus sensibles que les suivantes du groupe VIII; elles sont visibles encore à $\frac{5}{100000}$. Les deux lignes du groupe VIII sont comprises entre les deux raies ultimes de l'aluminium 3962 et 3944, presque toujours présentes dans le titane, et désignées par une croix sur les figures 3 et 4 de la planche II. Les trois raies du groupe IX, considérées par Sir Norman Lockyer comme « enhanced », sont néanmoins fortes dans l'arc, quoiqu'en effet un peu renforcées dans l'étincelle, où leur sensibilité est très supérieure. Les lignes du groupe X sont étroites, sans être très fortes dans le métal libre; dans les mélanges salins à teneurs décroissantes, leurs intensités se maintiennent jusqu'à leur disparition; elles sont plus fortes dans l'arc que dans l'étincelle. Le groupe XII, le plus important de tous par sa sensibilité, renferme les trois raies 3272,8; 3361,2; 3349,4, qui sont les véritables raies ultimes. L'une d'elles n'est autre que la raie [P] du spectre solaire. Le groupe XIII, moins sensible, est commode pour le diagnostic à première vue du titane sur un cliché, à cause de l'équidistance de ses quatre raies formant « grille ».

L'enregistrement du groupe XIV ne peut être fait qu'à travers des systèmes optiques en quartz; il ne se trouve donc que sur la figure 1, planche I. Les raies plus réfrangibles encore offrent peu de sensibilité.

L'influence d'un champ magnétique puissant, de près de 40000 unités, sur le spectre du titane entre λ4748 et λ2832 a été le sujet d'un important travail de M. J.-E. Purvis (*Proc. Cambridge. Phil. Soc.*, vol. 14, I, 1906, p. 43). En m'y reportant j'ai reconnu que toutes les raies comprises dans cet intervalle et appartenant aux deux Tableaux précédents subissent l'action de l'aimant. Elles se séparent en triplets dont la composante centrale est la plus forte et vibre parallèlement aux lignes de force, les composantes extérieures vibrant au contraire parallèlement à celles-ci. Une seule raie, λ3981,8, semble former en réalité un quadruplet, dont la structure réelle est rendue confuse par le voisinage d'une raie simplement élargie.

Voici maintenant quelques exemples d'applications :

Pour la *Métallurgie*. — Une grande partie des fers du commerce donnent à l'analyse spectrale directe (avec le support *fig.* 1) les raies du groupe XII, spécialement les trois raies ultimes. Je citerai notamment les petits clous dits « pointes de Paris ». Deux aciers seulement au titane, analysés, ont été à ma disposition. L'un, à 10,41 pour 100 de Ti, a fourni un spectre où toutes les raies du titane, spectrographié en coïncidence, se retrouvaient; la limite d'apparition totale du titane était donc atteinte et vraisemblablement dépassée.

L'autre acier, à 0,94 pour 100 de titane, a fourni dans les mêmes conditions le spectre de la figure 4, planche II, compris entre celui du titane

seul et celui d'un acier type, dépourvu de titane et de métaux peu communs. La simple inspection de cette planche, et la comparaison des groupes de raies numérotés, avec les indications du Tableau II, permettront de se rendre compte de la facilité de la recherche du titane dans les produits métallurgiques, où, d'autre part, comme nous l'avons dit plus haut, la forte raie rouge du groupe I permet de voir instantanément, par l'observation oculaire directe, si l'on a affaire à un acier à proportions notables de titane. Comme il apparaît, les trois groupes XI, XII et XIII sont particulièrement propices à la recherche du titane dans les aciers en fournissant des indications quantitatives, car leurs raies se projettent dans des espaces vides entre les raies du fer. Avec une série d'aciers au titane analysés, et de teneur inférieure à la limite d'apparition totale, il serait facile d'établir, par teneur, pour des conditions déterminées, une échelle de présence des raies, permettant des déterminations quantitatives rapides, comme je l'avais indiqué ici même (3 août 1908) pour l'évaluation de l'argent dans les plombs d'œuvres ou les galènes. On obtiendrait ainsi des évaluations approchées, par simple inspection des clichés à la loupe, au sortir du développateur. Ce procédé est applicable à tous les métaux énumérés en commençant; j'en ai d'ailleurs vérifié l'exactitude pour des aciers au vanadium, au molybdène et au tungstène.

Pour la *Minéralogie*. — Une quinzaine de micas de diverses provenances, Muscovites ou Biotites, mis en fusion avec Na^2CO^3, m'ont fourni des spectrogrammes très voisins de celui de la Biotite, de Mazataud (Haute-Vienne), donné figure 3, planche II. Ce spectre montre aussi la coïncidence des lignes du fer contenu dans ce mica qui, analysé par M. F. Pisani, a donné : TiO^2, 1,50 pour 100; Fe^2O^3, 23,8 pour 100. Des essais méthodiques faits avec des quantités décroissantes d'Euxénite, de Naëskilen et de Bétafite, d'Ambolotara, à teneurs connues en titane, m'ont donné les mêmes résultats que ceux des Tableaux I et II. La présence d'éléments étrangers n'a donc altéré ni l'ordre ni le degré de sensibilité des raies. Cette méthode offre d'autant plus d'avantage en Minéralogie que ni le titane, ni ses sels, ni les minéraux titanifères ne donnent leurs raies dans le chalumeau, même oxyacétylénique.

GÉOLOGIE. — *Sur le terrain houiller des environs de Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie).* Note de M. W. KILIAN.

Une étude attentive du complexe puissant de grès et de schistes à anthracite qui occupe, au sud de l'Arc, la portion de la zone axiale intra-alpine comprise entre Modane, le Mont-Thabor, Bonnenuit, Valloire et Saint-Michel, m'a conduit à distinguer dans cet ensemble deux divisions nettement distinctes, à savoir :

a. Un étage gréseux, dans lequel dominent des bancs épais de grès et de conglomérats, souvent dynamométamorphisés, et qui se fait remarquer par l'absence et l'extrême rareté des couches d'anthracite. Les assises de cet étage occupent la partie médiane de la zone houillère et constituent un anticlinal complexe (vallée de la Neuvache et Plan-du-Fond, massifs du Petit-Fourchon et de Bissorte) dont le substratum est inconnu. Elles dessinent, au sud de la région près de la cabane de Pascalon dans la haute vallée de la Clarée (Hautes-Alpes), une *voûte anticlinale* très nette.

b. Un étage schisteux, riche en couches d'anthracite ([1]) intercalées dans des schistes gréseux ou argileux; les assises de grès, lorsqu'elles se présentent, sont moins grossières que dans l'étage précédent; sur le bord ouest de la zone axiale, M. Ch. Pussenot ([2]) a signalé une *flore du Westphalien*

([1]) La *portion inférieure de cet étage supérieur* fournit le charbon des *mines des Sordières* près de Saint-Michel, mais des travaux exécutés anciennement par les habitants du pays, aux environs de Valloire et en particulier des prospections récentes très soigneusement exécutées par M. Gojon, dans les massifs du *Crey-du-Quart* et de la *Sétaz*, ont fait connaître, dans les couches plus élevées de cette division *supérieure*, la présence de nombreuses couches d'anthracite d'une épaisseur moyenne de 1^m à 2^m, avec renflements et étirements faisant varier parfois la puissance du combustible de $0^m,30$ à 10^m. On peut évaluer à un *minimum* de CINQ MILLIONS DE TONNES la quantité d'anthracite exploitable dans ce seul *massif* par galeries horizontales.

On conçoit que si les progrès de la technique moderne permettent de rendre utilisable pour les besoins de l'industrie ce combustible trop longtemps délaissé, il y a là des réserves intéressantes à mettre en valeur. Il en est de même pour d'autres portions de la Savoie et du Briançonnais appartenant à la même zone des Alpes, ce qui représente un tonnage considérable d'anthracite qui n'a été jusqu'à présent exploité avec quelque activité que dans les environs de Saint-Michel (Maurienne) et d'Oume-en-Tarantaise.

([2]) *Comptes rendus*, t. 155, 1912, p. 1564, et t. 156, 1913, p. 97.

moyen à Chexlu près de Bonnenuit, au Petit Saint-Bernard et en divers points du Briançonnais, et, d'autre part, au nord de l'Arc, près du col des Encombres et au Pic de la Masse, une flore stéphanienne (zone des Cévennes) a été nettement reconnue par ce même géologue.

Il en est de même près du col de Muandes, sur le bord oriental de cette même zone houillère où, près de la Vallée Étroite, MM. Mattirolo, Portis et Virgilio ont rencontré des flores westphalienne et stéphanienne; M. Pussenot a d'autre part signalé le Westphalien moyen près du Pas de la Tempête, près Névache.

Il résulte de ces faits que la *division inférieure* (*a*), qui n'a fourni encore aucune empreinte végétale caractéristique, représente sans doute le *Westphalien inférieur;* le massif gréseux anticlinal ([1]) (lui-même accidenté de replis secondaires) qui constitue ce complexe, est flanqué à l'Est et à l'Ouest d'assises appartenant à la *division supérieure* (*b*) et dans lesquelles sont contenues les flores caractéristiques de divers niveaux allant du *Westphalien moyen* au *Stéphanien*. Ces dernières couches dessinent des replis isoclinaux multiples et sont fréquemment troublées par des dislocations superficielles dues à « la poussée au vide » dans le voisinage des pentes.

Les synclinaux sont parfois occupés par des schistes et anthracites stéphaniens.

Il semble donc bien établi que la formation houillère de la zone axiale intraalpine (zone du Briançonnais des auteurs) représente *le faciès continental des étages Westphalien et Stéphanien* du système anthracolithique, avec prédominance du Westphalien; le Stéphanien étant réduit à des affleurements d'extension restreinte, alors qu'il règne *exclusivement* dans les régions plus externes de la Chaîne (La Mure, Petit-Cœur, Grandes Rousses, Servoz, etc.) où les travaux récents de M. Pussenot, appuyés sur les déterminations de R. Zeiller, ont démontré l'existence de la *zone des Cordaïtes* et de la *zone des Cévennes*. Il n'existe à mon avis aucune raison stratigraphique décisive pour admettre dans cette série intraalpine des *lacunes* ou des discordances importantes : le Stéphanien, fréquemment métamorphisé ou présentant un faciès siliceux ou arénacé qui ne permet

---

([1]) Je fais abstraction pour le moment de la question de savoir si ce massif anticlinal (à substratum inconnu) représente un « éventail » enraciné en profondeur ou s'il doit être considéré comme le noyau plissé d'une nappe de charriage (nappe pennine) venue de l'Est ou du Nord-Est, les faits exposés dans cette note pouvant se concilier avec les deux interprétations et ayant une réalité objective indépendante de ces hypothèses.

pas toujours de le distinguer aisément du Permien, surmonte probablement le Westphalien partout où les érosions ultérieures ne l'ont pas fait disparaître. Sa disparition locale en quelques points est due à des étirements mécaniques.

ÉLECTIONS.

L'Académie procède, par la voie du scrutin, à l'élection d'un Correspondant pour la Section de Minéralogie, en remplacement de sir *Archibald Geikie*, élu Associé étranger.

Au premier tour de scrutin, le nombre de votants étant 37,

M. Walcott obtient	. . . .	35 suffrages
M. Cesàro »	. . . .	1 suffrage
M. Lugeon »	. . . .	1 »

M. Walcott, ayant réuni la majorité absolue des suffrages, est élu Correspondant de l'Académie.

MÉMOIRES PRÉSENTÉS.

M. P. Charbonnier communique à l'Académie le manuscrit d'un Ouvrage, en cinq volumes, ayant pour titre : *Traité de Balistique extérieure*. Les trois premiers volumes sont consacrés à la Balistique extérieure rationnelle, le quatrième à la Balistique extérieure expérimentale, le cinquième à l'historique de la Balistique extérieure et à la bibliographie.

(Renvoi à la Commission de Balistique.)

CORRESPONDANCE.

M. le Secrétaire perpétuel signale, parmi les pièces imprimées de la correspondance :

Achille Müntz (1846-1917), par M. Ch. Girard. (Présenté par M. E. Roux.)

Opere matematiche di Luigi Cremona, par C.-F. Geiser.

Sur la réforme qu'a subie la mathématique de Platon à Euclide, et grâce à laquelle elle est devenue science raisonnée, par H.-G. ZEUTHEN.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur les singularités irrégulières des équations différentielles linéaires.* Note de M. RENÉ GARNIER.

Les résultats que j'ai énoncés ([1]) à propos des singularités irrégulières des équations linéaires du second ordre comportent diverses conséquences que je résumerai rapidement.

1. Considérons l'équation linéaire

$$(E_0) \qquad y'' = \left[s^2 x^{2m} + a_{2m-1} x^{2m-1} + \sum_{2m-2}^{-\infty} a_k x^k \right] y \qquad (s \neq 0),$$

qui présente $x = \infty$ comme point irrégulier de rang $m + 1$; dans le domaine de ce point la méthode des approximations successives, introduite par M. E. Picard pour $m = 0$, permet de calculer deux systèmes d'intégrales normales. L'un d'eux comprend les intégrales $y_k^1 (k = 1, \ldots, m+1)$ convergeant ([2]) dans les secteurs

$$\sigma_k^1 \qquad (4k-5)\pi + \eta \leqq 2(m+1) \arg. x \leqq (4k+1)\pi - \eta,$$

où $|x|$ est pris suffisamment grand (en fonction de l'infiniment petit η); l'autre comprend les intégrales y_k^2 convergeant dans les secteurs

$$\sigma_k^2 \qquad (4k-3)\pi + \eta \leqq 2(m+1) \arg. x \leqq (4k+3)\pi - \eta,$$

et l'on a de plus $y_k^i = x^{\lambda_i} e^{\psi_i(x)} [1 + \ldots]$, le crochet tendant asymptotiquement vers 1 dans σ_k^i et $\psi_i(x)$ désignant un polynome d'ordre $m + 1$, nul avec x.

Cela étant, j'avais envisagé l'équation

$$(E_\varepsilon) \qquad y'' = \left[\frac{s(s - \varepsilon^{m+1}) x^{2m}}{(1 - \varepsilon x)^2} + \frac{a_{2m-1}(\varepsilon) x^{2m-1}}{1 - \varepsilon x} + \sum_{2m-2}^{-\infty} a_k(\varepsilon) x^k \right] y$$

présentant un point régulier $x = \varepsilon^{-1}$, un point irrégulier $x = \infty$ de rang m;

([1]) *Comptes rendus*, t. 164, 1917, p. 265.

([2]) Ceci suppose $m > 0$, restriction qui sera conservée dans la suite.

pour ε infiniment petit (E_ε) « tend » vers (E_0) à l'intérieur d'un domaine D qui grandit indéfiniment avec ε^{-1}. J'ai montré que les deux intégrales canoniques du point $x = \varepsilon^{-1}$ et les $2m$ intégrales normales du point $x = \infty$ tendent uniformément dans D vers les $2m + 2$ intégrales normales de (E_0). Or la répétition du procédé précédent permet évidemment d'envisager (E_0) comme *issue d'une équation linéaire* $(\mathcal{E})$ *possédant* à distance finie, les mêmes singularités que (E_0) et, en outre $m + 2$ *points réguliers* $e_0 = \infty$, $e_1, \ldots, e_{m+1}$, à exposants caractéristiques r_i très grands avec les $|e_i|$ et *dont la fusion engendrera précisément le point irrégulier de* (E_0).

2. Ceci rappelé, observons qu'en tout point x suffisamment éloigné, on peut (pour $m > 0$) calculer les valeurs de *trois* intégrales normales. Ainsi, pour

$$\Delta_k^1 \qquad (4k-1)\pi + \eta \leqq 2(m+1)\arg.x \leqq (4k+1)\pi - \eta,$$

on connaît y_k^1, y_{k+1}^1, y_k^2, et dans le secteur contigu

$$\Delta_k^2 \qquad (4k+1)\pi + \eta \leqq 2(m+1)\arg.x \leqq (4k+3)\pi - \eta,$$

on connaît $y_k^2, y_{k-1}^2, y_{k-1}^1$. On aura donc, en tout point de Δ_k^1 et Δ_k^2 respectivement, des relations linéaires entre trois intégrales, relations qui seront nécessairement [1] de la forme

$$(\alpha) \qquad \begin{cases} y_{k+1}^1 - y_k^1 = \alpha_k^2 \quad y_k^2, \\ y_{k+1}^2 - y_k^2 = \alpha_{k+1}^1 y_{k+1}^1. \end{cases}$$

Arrêtons-nous sur les relations (α), que j'appellerai *relations caractéristiques du point irrégulier*. Tout d'abord, elles permettent d'opérer *le prolongement de chaque intégrale normale* y_k^i dans tous les secteurs (autres que celui σ_k^i où elle a été définie); en particulier, elles permettent de calculer les coefficients de la substitution s subie par un couple quelconque d'intégrales normales après un lacet $\mathfrak{L}$ autour de $x = \infty$.

Or ces relations caractéristiques, dont l'étude est intimement liée à celle du point irrégulier, le passage à la limite rappelé plus haut nous en montre l'origine et la signification : *elles représentent la trace des substitutions de passage* Σ *qui lient les* $2m - 2$ *intégrales canoniques de* $\mathcal{E}$ *en* $e_1, \ldots, e_{m+1}$. Mais

---

[1] Car $|y_k^2|$ par exemple est très petit dans Δ_k^2, tandis que y_k^1 et y_{k+1}^1 ont de très grands modules, *avec des représentations asymptotiques identiques*; ceci s'accorde bien avec la remarque classique que les fonctions $f(x)_+$ et $f(x) + e^{-x^{m+1}}$ de la variable positive x sont *asymptotiquement indiscernables*.

il y a plus. Considérons le groupe G (sous-groupe du groupe $\mathcal{G}$ de $\mathcal{E}$) engendré par les substitutions S_i correspondant aux e_i; G contient $3(m+1)-3$ invariants dont $m+1$ (les racines r_i) disparaissent dans le passage à la limite: restent $2(m+1)-3$ invariants J; je dis qu'*on peut les choisir de façon qu'ils aient pour limites* $2m-1$ *des produits* (¹) $\alpha_k^1 \alpha_k^2$, $\alpha_k^1 \alpha_{k+1}^1$ que j'appellerai *les paramètres du point singulier*.

En effet, soient $(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i)$ les coefficients de la substitution Σ qui relie les intégrales canoniques de e_1 à celles de e_i; notre assertion sera légitimée si l'on prend pour invariants J les $2m-1$ produits

$$\frac{\alpha_2}{\beta_2}\frac{\delta_2}{\gamma_2}, \quad \frac{\alpha_2}{\beta_2}\frac{\beta_i}{\alpha_i}, \quad \frac{\alpha_2}{\beta_2}\frac{\delta_i}{\gamma_i} \qquad (i=3, \ldots, m+1).$$

Ainsi, lorsque tous les points de $\mathcal{E}$ sont réguliers, et au nombre de N, $m+1$ des $3N-3$ invariants de $\mathcal{G}$ disparaissent; $3(N-m-1)-3$ se retrouvent dans les invariants de Poincaré pour E_0; les $2m+2$ restants doivent être cherchés parmi $2m+1$ des paramètres du point irrégulier, ainsi que dans une expression analogue *reliant* pour ainsi dire ce point aux singularités finies.

Enfin, la parenté qu'on vient d'établir entre $\mathcal{E}$ et E_0 permet de *rattacher mutuellement deux catégories de problèmes regardés antérieurement comme bien distincts :* telles sont les déterminations des exposants caractéristiques correspondant soit à un lacet $\mathcal{L}$ autour d'un point irrégulier, soit à un circuit autour d'un ensemble quelconque de points réguliers: tels sont encore les problèmes d'existence d'intégrales du type $x^{\lambda} e^{\psi(x)} z(x)$ [$z(x)$, holomorphe pour $x=\infty$], ou $\Pi(x-e_i)^{\alpha_i} z(x)$ [$z(x)$, holomorphe dans un domaine comprenant les e_i]....

Il me paraît intéressant de dégager des résultats précédents une conséquence qui se vérifie encore ailleurs : *aucun de ces résultats n'aurait été obtenu, si l'on avait voulu se limiter à l'emploi des séries asymptotiques ;* tandis que, suivant une remarque de M. E. Picard, les approximations successives permettent de retrouver aisément les développements en séries asymptotiques.

(¹) Ces paramètres, dont le nombre est $2m+2$, sont liés par une identité évidente; de plus, si l'on considère comme donnée la substitution $\mathcal{S}$ (qui correspond à un circuit autour des points singuliers autres que les e_i), les $2m+1$ paramètres restants satisferont encore à deux relations.

ASTRONOMIE. — *Étude de courants stellaires.* Note (¹) de M. **J. Comas Solá**, présentée par M. Bigourdan.

Dans une Note publiée dans les *Comptes rendus* de 1917, j'ai indiqué l'existence d'un courant d'étoiles comprenant tout le Sagittaire, s'étendant sur de grandes régions célestes, et faisant prévoir l'existence d'un apex. Voici le résumé des résultats obtenus par la continuation de ce travail :

L'objectif employé a 16^{cm} de diamètre et 80^{cm} de distance focale; les poses sont de 40 à 60 minutes, et les intervalles entre les photographies varient de 2 à 6 ans, étant presque toujours de 5 à 6 ans. Mes clichés comprennent 11 régions distinctes, dont quelques-unes ont été réobservées plusieurs fois avec des intervalles variés. Il est impossible d'explorer stéréoscopiquement en une fois chacun de ces clichés ($18^{cm} \times 24^{cm}$); et ils ont été divisés en plusieurs parties ou parcelles de 3° 32′ de diamètre chacune. Au total, j'ai observé 62 parcelles et j'ai déterminé la direction du courant pour chacune d'elles. Il serait trop long de commenter ici les résultats de chaque parcelle; ils sont donnés dans les Tableaux suivants où l'on trouve la position du centre de chacune d'elles, en groupant celles de chaque cliché, avec la direction moyenne du courant d'étoiles correspondant, déterminée par une estime d'ensemble. La colonne des remarques donnera une description sommaire des principales caractéristiques de l'ensemble des parcelles de chaque cliché.

Dans la détermination de la direction du courant dans chaque parcelle, je n'ai pas connu préalablement l'orientation de la parcelle, ce qui élimine toute suggestion possible. Il est inutile de dire, enfin, que l'épaisseur stéoréoscopique maximum de chaque parcelle est proportionnel à la vitesse du courant.

Coordonnées des centres des parcelles (1900,0). α.	δ.	Direction moyenne du courant.	Degré d'évidence du courant.	Remarques.
h m	° ′	°		
1. 3	+37.57	265	évident	Constellation d'*Andromède*. Il y a quelques rares groupes d'étoiles qui ne suivent pas le courant. La grande nébuleuse elliptique se trouve dans le fond du tableau. L'épaisseur stéréoscopique du courant est moyenne.
1. 3	+41.29	245	très évident	
0.44	+41.49	230	évident	
0.43	+38.21	295	évident	
0.28	+40. 6	265	évident	

(¹) Séance du 7 janvier 1918.

Coordonnées des centres des parcelles (1900,0). α.	δ.	Direction moyenne du courant.	Degré d'évidence du courant.	Remarques.
h m	° '	°		
3.33	+28.11	276	sûr	*Taureau*, contenant les Pléiades, qui suivent le courant. Champs relativement pauvres en étoiles. La vitesse du courant est faible. L'observation de la 5e parcelle n'a pas de poids : bord de la plaque et réfraction.
3.43	+21.43	230	évident	
3.29	+21.39	265	assez évident	
3.44	+25. 7	273	sûr	
3.51	+21.31	120±	douteux	
4. 0	+25. 3	90±	douteux	
3.51	+27.41	12±	peu sûr	
5.26	—10.18	314	assez évident	Clichés excellents et étoiles abondantes. En général le courant est très rapide. Rigel suit le courant, mais faiblement. Dans les 4e et 5e parcelles il y a de très grands reliefs.
5.21	— 7.10	322	évident	
5. 9	— 8.10	333	évident	
5.26	—10.46	300	grande évidence	
5. 9	—11.38	310	grande évidence	
5.27	—13.30	344	évident	
5.20	—14.26	6	médiocrement évident	
5.45	— 1.38	144	évident	*Orion*, contenant la grande nébuleuse. Il y a ici un courant tout à fait évident, et qui paraît local, presque opposé au courant général. Dans la 6e parcelle, il y a un grand segment qui paraît appartenir déjà au courant général. La grande nébuleuse présente des mouvements compliqués, et très probablement un lent mouvement orbital des deux noyaux (nébuleuses 1179 et 1184, G. C.). Reliefs très forts dans tout ce courant local d'Orion.
5.31	— 1.38	75	évident	
5.18	— 1.46	91	évident	
5.44	— 5.26	109	évident	
5.31	— 5.18	105	évident	
5.18	— 5.18	115	évident	
		360	assez évident	
5.38	— 8.58	140	évident	
5.23	— 7.58	128	peu évident	
6.40	—18.16	335	assez évident	*Grand Chien*, avec Sirius. Clichés pauvres en étoiles. Il semble y avoir quelques courants entrecroisés. L'amas M. 41 est très notable pour les mouvements de ses étoiles. Sirius est trop gros et trop enveloppé de brume pour donner l'effet stéréoscopique. En général, l'intensité du courant, dans cette région, est faible.
6.44	—21.48	255	assez évident	
6.49	—24.56	346	peu évident	
6.59	—20.36	15	assez évident	
6.28	—22.56	238	assez évident	

Coordonnées des centres des parcelles (1900,0). α.	δ.	Direction moyenne du courant.	Degré d'évidence du courant.	Remarques.
h m	° ′	°		
7.12	+32.24	22	peu évident	*Gémeaux.* Étoiles de faible grandeur, en général. Dans la 1re parcelle, il y a un groupe d'étoiles qui ne participe pas au courant.
6.55	+29.52	238	évident	
6.57	+35.24	307	peu évident	
6.45	+32.44	210	peu évident	
6.27	+32. 4	260	peu évident	
6.38	+29.12	240	peu évident	
7.42	+68. 6	300	très peu évident	*Grande Ourse.* Clichés pauvres en étoiles. Faibles reliefs.
7. 7	+67.54	265	assez évident	
18. 4	−26.22	317	évident	*Sagittaire.* Courant très évident et forts reliefs. L'amas M. 8 et la nébuleuse M. 20 ne participent pas au mouvement du courant.
17.52	−23.30	283	évident	
17.47	−27.54	278	évident	
18. 6	−22.54	290	évident	
18.55	− 3.48	320	évident	*Antinous.* Courant bien évident et médiocres reliefs. L'amas M. 11 ne suit pas le courant, et ses étoiles ne présentent aucun mouvement.
18.39	− 5.13	280	évident	
18.45	− 7.13	295	évident	
18.31	− 9. 5	296	évident	
21.17	+28.56	281	peu évident	*Cygne.* Il y a sans doute, dans cette région, des courants locaux; mais le courant général n'est pas pour cela moins certain. Les reliefs sont, en général, médiocres.
21. 1	+29. 0	224	très évident	
20.42	+28.52	328	presque sûr	
21.17	+32.36	317	peu évident	
21. 0	+32.40	247	évident	
20.41	+32.36	297	évident	
21.19	+36.20	217	évident	*Cygne.* L'existence générale du courant est évidente. Quelques étoiles montrent de forts reliefs, et l'épaisseur stéréoscopique du courant est moyenne. La 61e du Cygne suit un mouvement presque opposé au courant.
21. 4	+35. 0	214	évident	
20.48	+36.40	251	assez évident	
20.48	+40.36	182	sûr	
21. 7	+38.32	223	évident	
21.17	+39.40	216	évident	
21. 4	+41.44	221	assez évident	
21.20	+43.20	258	peu évident	

ASTRONOMIE. — *Loi des densités d'une masse gazeuse et températures intérieures du Soleil.* Note ([1]) de M. A. **Véronnet**, présentée par M. P. Puiseux.

La loi de variation de la pression dans une masse sphérique et la formule des gaz réels, mises sous la forme suivante :

$$(1) \qquad dp = -\gamma\rho\, dr, \qquad p\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) = \frac{\mathrm{RT}}{\mu},$$

permettent de déterminer la pression et la densité en fonction de la profondeur x, au voisinage d'une couche, dans les limites où l'on pourra y considérer la température T et la pesanteur γ comme pratiquement constantes. En prenant pour origine la couche où se produit l'inflexion de la courbe des densités déterminée précédemment ([2]) où $\rho = \frac{1}{3}\rho_0$ et $p = p_i = \frac{\rho_0}{2}\frac{\mathrm{RT}}{p}$, on obtient

$$(2) \qquad \mathrm{L}\frac{p}{p_i} + \frac{p - p_i}{2p_i} = \alpha x, \qquad \mathrm{L}\frac{2\rho}{1-\rho} + \frac{1}{2}\frac{3\rho - 1}{1-\rho} = \alpha x.$$

Pour une température de 6000° et pour l'hydrogène dissocié, $\mu = 1$, on obtient le Tableau :

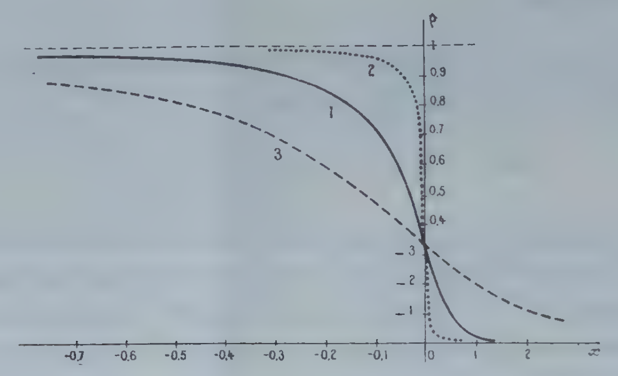
$\rho =$ 0,01	0,1	0,2	0,3	1/3	0,4	0,5	0,6	2/3	0,7	0,8	0,9	0,99
$x =$ 780	350	175	42	0	85	220	386	530	622	1030	2100	19000
$10^3\frac{x}{r_1} =$ 1,15	0,50	0,25	0,06	0	0,12	0,31	0,55	0,76	0,90	1,47	3,0	27,0

Dans la seconde ligne x est exprimé en kilomètres, dans la troisième en millièmes du rayon. Pour des conditions différentes les valeurs de x seront inverses des nouvelles valeurs de α. La courbe 1 de la figure représente la variation de la densité dans le cas du Soleil avec $\mu = 1$, la courbe 2 en pointillé, dans le cas où le gaz aurait une masse moléculaire $\mu = 10$. On remarquera que les abscisses sont données en millièmes du rayon et par conséquent quelle est la rapidité de la variation. On trouve une densité égale à 0,9 de la densité centrale à 2100^{km} de profondeur, c'est-à-dire à trois millièmes du rayon. On peut considérer la densité au delà comme égale à la densité limite et constante.

([1]) Séance du 7 janvier 1918.

([2]) *Comptes rendus*, t. 165, 1917, p. 1055.

La courbe 3 représente la variation de densité avec $\mu = 1$, en supposant au Soleil un rayon double avec une température double. Dans cette dernière hypothèse, on aurait encore la courbe 1 pour $\mu = 4$ et la courbe 2 pour $\mu = 40$.



En désignant par ρ_1 la densité à 0° et 1^{atm} et, négligeant ρ_1 devant ρ_0, on obtient pour la formule des gaz et la pression p_i les expressions

$$(3) \qquad \frac{p}{T}\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) = \frac{p_1}{\rho_1 T_1}, \qquad p_i = \frac{p_1}{2}\frac{\rho_0}{\rho_1}\frac{T}{T_1}.$$

Comme le remarque Sarrau, la densité limite est approximativement voisine de 1000 fois la densité ρ_1. Si l'on fait $T = 6000$ dans la formule ci-dessus, on voit que la pression d'inflexion, au-dessus de laquelle ils atteignent très vite leur densité limite, est voisine de $11\,000^{atm}$ pour la plupart des gaz.

Les observations spectroscopiques nous indiquent que la couche solaire, où la pression est de 1^{atm}, se trouve dans la couche renversante. Dans le cas où cette couche serait formée surtout d'hydrogène, nous trouvons la pression de $11\,000^{atm}$ à 1800^{km} au-dessous; dans le cas de l'oxygène, à 110^{km} seulement. En tout cas, tous les corps doivent se trouver à leur densité limite, très peu au-dessous de la surface visible du Soleil et s'y comporter presque comme des liquides.

On peut essayer de traduire la loi des densités par une expression de la forme

$$(4) \qquad \rho = \rho_0(1 - \lambda r^n)^{n'},$$

on a

$$\rho = 1,41(1 - 0,174\, r^{14,10})^{5,75}.$$

Car avec la condition que pour $r = 1$ on a

$$\rho = \frac{1}{3}\rho_0, \qquad \rho'_1 = \frac{4}{27}\alpha \qquad \text{et} \qquad \rho'' = 0,$$

on trouve, en négligeant 1 devant ρ'_1 qui est très grand,

$$(5) \qquad n' = \frac{1}{\lambda}, \qquad (1-\lambda) = \frac{1}{3}, \qquad n = \frac{4}{9}(1-\lambda)\alpha.$$

On en tire $\lambda = 0,174$ et $n' = 5,75$ indépendants de α et pour le Soleil $n = 1410$. La formule donne des résultats assez voisins des calculs directs par la formule (2).

On a supposé la température constante. On peut évaluer, sur une couche déterminée, la variation maximum de température au delà de laquelle la densité croîtrait avec la profondeur et produirait le brassage des éléments. Il suffit de faire ρ constant dans (1), on obtient

$$(6) \qquad dT = \alpha T_1 (1-\rho)\, dx.$$

Avec $T_1 = 6000°$ et $\rho = \frac{1}{3}$, on trouve que la variation maximum ne peut pas dépasser 22° par kilomètre. Elle serait moindre qu'à l'intérieur du sol terrestre où l'on a 33° par kilomètre. Il est évident que ce faible gradient ne peut pas entretenir le rayonnement et que le brassage doit être énorme. En totalisant cette augmentation de température jusqu'à la densité 0,9 on trouve 18000°, de là jusqu'au centre 35000°. On aurait donc une température centrale maximum de 60000° et qui en réalité doit être beaucoup plus basse.

Une masse gazeuse située sur la couche d'inflexion, sous une pression de 11000^{atm}, posséderait une puissance d'expansion ou d'explosion supérieure à celle de la mélinite. Par le jeu du refroidissement des couches superficielles, ces masses profondes remontent à la surface, comme un ballon délesté, et y produisent les différents phénomènes qui seuls sont visibles pour nous.

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. — *Sur les théories de la gravitation.* Note de M. L. BLOCH, présentée par M. Hadamard.

I. Soit $\Lambda_q(T)$ l'opérateur de Lagrange

$$\Lambda_q(T) = \frac{\partial T}{\partial q} - \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial q'}\right).$$

Nous dirons qu'une théorie mécanique satisfait au principe d'Hamilton lorsque *toutes* les équations du mouvement sont du type

$$\Lambda_q(\mathrm{T}) = 0.$$

Si T ne contient pas explicitement x, y, z ni leurs dérivées, mais seulement les distances mutuelles $r, r', \ldots$ et leurs dérivées, nous dirons que l'équation

$$\Lambda_r(\mathrm{T}) = 0$$

satisfait au *principe d'Hamilton relatif*.

II. La théorie de la gravitation de Tisserand [1], qui consiste à remplacer la loi de Newton par la loi électrodynamique de Weber, satisfait au principe d'Hamilton. On peut en déduire *une* équation qui satisfait au principe d'Hamilton relatif.

III. La théorie de M. Reissner [2] satisfait par définition au principe d'Hamilton relatif. Sous la forme que lui a donnée son auteur, elle est un cas particulier d'une théorie légèrement plus générale, *où la loi d'action élémentaire est la loi de Weber*. Elle représente donc l'extension naturelle de la théorie de Tisserand, telle que la suggère le principe de relativité.

IV. La théorie d'Einstein [3] se présente avec des caractères différents en première approximation et en seconde approximation. En première approximation, elle reconnaît comme lois de force les lois de l'Électrodynamique classique, modifiées par l'introduction du facteur $\frac{1}{2}$ dans le terme statique. En seconde approximation, elle s'exprime par la loi de Gauss modifiée en outre dans son terme statique par le facteur $1 + \frac{\alpha}{r}$ [4]. Elle conduit à une valeur correcte pour l'anomalie du périhélie de Mercure.

V. On arrive à *la même valeur* en utilisant la loi de Weber corrigée également dans son terme statique par les facteurs $\frac{1}{2}$ et $1 + \frac{\alpha}{r}$. Lorsqu'on se sert de la formule de Gauss-Einstein, la variable indépendante est le

---

(1) V. Tisserand, *Mécanique céleste*, t. 4, p. 505.

(2) V.-H. Reissner, *Phys. Zeitsch.*, t. 15, 1914, p. 371, et t. 16, 1915, p. 179.

(3) A. Einstein, *Ber. Berl.*, t. 17, 1915, p. 831.

(4) Le nombre α ne dépend pas de la masse attirée. Il est égal à 3.10^5 centimètres pour le Soleil.

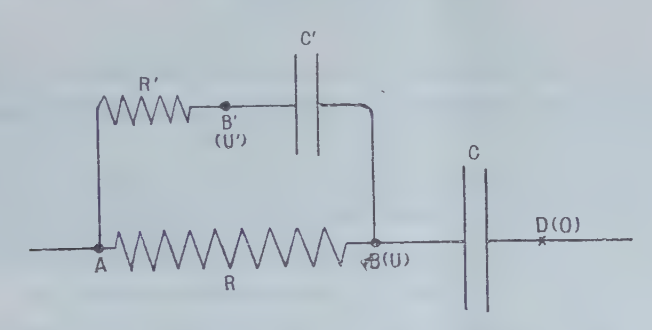
temps propre du mobile; lorsqu'on se sert de la formule de Weber, la variable indépendante est le *temps ordinaire*.

La double correction qui vient d'être indiquée implique la relativité de la masse inerte de la même façon que la théorie de Reissner et que celle d'Einstein. Elle suffit pratiquement à mettre la théorie de Tisserand en accord avec le principe d'Hamilton relatif.

ÉLECTRICITÉ. — *Sur un phénomène de surtension dans un circuit dépourvu de self-induction, en courant continu.* Note (¹) de M. **H. Chaumat**, présentée par M. J. Violle.

En étudiant de près les causes d'erreurs et les corrections de la méthode de mesure des isolements dite *méthode d'accumulation*, nous avons été amené à la constatation d'un phénomène qui paraît paradoxal à première vue et qni, à notre connaissance, n'a pas encore été signalé. Ce phénomène consiste en une surtension, en courant continu, dans un circuit dépourvu de self-induction, ne contenant que des condensateurs et des résistances. Ce phénomène se produit pendant la période de fermeture du circuit, période pendant laquelle toutes les connexions restent sans changements.

Considérons le circuit figuré ci-dessous. Un premier condensateur, de



capacité C, est en série avec une résistance R. Aux extrémités A et B de la résistance R se trouve connecté un second circuit comprenant en série, comme l'indique le schéma, une nouvelle résistance R′ et un condensateur de capacité C′. L'extrémité D du circuit est connecté au pôle négatif d'une pile de force électromotrice E et de résistance négligeable. Nous prendrons le potentiel du point D comme origine des potentiels.

(¹) Séance du 14 janvier 1918.

A l'instant zéro, on relie le point A au pôle positif de la source. Soient, à l'instant t, U le potentiel du point B, U' le potentiel du point B'.

On établit facilement l'équation suivante qui définit U' en fonction du temps

$$(1) \qquad U' = E - \frac{R'}{R} M(1 + CR\rho_1) e^{\rho_1 t} - \frac{R'}{R} N(1 + CR\rho_2) e^{\rho_2 t},$$

dans laquelle M et N sont donnés par les formules

$$(2) \qquad M = E \frac{R + R' + CRR'\rho_2}{CRR'(\rho_1 - \rho_2)},$$

$$(3) \qquad N = -E \frac{R + R' + CRR'\rho_1}{CRR'(\rho_1 - \rho_2)},$$

ρ_1 et ρ_2 étant les deux racines de l'équation du second degré en ρ

$$(4) \qquad CC'RR'\rho^2 + (CR + C'R' + C'R)\rho + 1 = 0.$$

Les racines ρ_1 et ρ_2 sont réelles, inégales, toutes deux négatives; ρ_2 est la plus grande en valeur absolue.

La discussion montre :

1° Que U' qui part de zéro, au temps zéro, atteint la valeur E au temps T défini par

$$T = \frac{1}{\rho_1 - \rho_2} \operatorname{Log}_e \frac{\rho_2}{\rho_1},$$

puis dépasse cette valeur E, atteint un maximum au temps 2T, double du précédent, puis décroît ensuite pour atteindre asymptotiquement E au bout d'un temps infini.

C'est ce résultat d'un maximum de U' supérieur à E, qui paraît paradoxal à première vue, le circuit, complètement dépourvu de self-induction et dont les connexions restent permanentes pendant toute la durée de la charge du condensateur C, ne présentant pas de phénomènes oscillatoires.

2° La différence de potentiels (U' − U) qui définit la charge du condensateur C' passe par un maximum au temps T défini plus haut (quand U' devient égal à E).

Le maximum de (U' − U) est donné par

$$(U' - U)_{max} = -\frac{E}{C'R'\rho_2} \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{\frac{\rho_1}{\rho_1 - \rho_2}}.$$

A partir de l'instant T, le condensateur C' commence à se décharger et la différence de potentiels (U' − U) tend asymptotiquement vers zéro.

3° La valeur maxima de U′, ou mieux l'écart relatif maximum entre U′ et E est donné par

$$\frac{U'_m - E}{E} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{-\frac{\rho_1+\rho_2}{\rho_1-\rho_2}}.$$

On voit que ce maximum ne dépend que du rapport des deux racines ρ_1 et ρ_2. Ce maximum tend lui-même vers un maximum quand le rapport des deux racines tend vers l'unité : on a alors la valeur remarquablement simple

$$\frac{U'_m - E}{E} = \frac{1}{e^2} = 0,1353.$$

Mais ce maximum maximorum ne peut jamais être atteint, les deux racines ρ_1 et ρ_2 étant toujours inégales.

Ces résultats sont accessibles à la mesure. Nous avons réalisé expérimentalement le cas suivant :

$C = 1$ microfarad, $C' = 0,01$ microfarad,
$R = 7$ mégohms, $R' = 500$ mégohms environ;

le maximum de U′ vaut 1,1318 E et se produit au bout de 11,75 secondes.

L'électromètre très amorti dont nous nous sommes servi ne nous a pas permis de saisir le maximum, mais nous avons mesuré, au delà du maximum, un potentiel U′ valant 99,5 volts (pour $E = 95$ volts).

Avec

$C = 1$ microfarad, $C' = 0,1$ microfarad,
$R = 7$ mégohms, $R' = 500$ mégohms environ,

le maximum de U′ est moins important (1,0724 E), mais il se produit au bout de 31,85 secondes après la fermeture du circuit. Ce maximum a pu être saisi. On a lu pour U′ 102,5 volts, 34 secondes après la fermeture du circuit, la source donnant 94 volts.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Équilibres invariants dans le système ternaire : eau, sulfate de soude, sulfate d'ammoniaque.* Note [1] de MM. C. **Matignon** et F. **Meyer**, présentée par M. Henry Le Chatelier.

Dans une Note précédente [2], nous avons étudié les équilibres monovariants correspondant au système ternaire : eau, sulfate de soude, sulfate d'ammoniaque, maintenu sous la pression atmosphérique.

---

[1] Séance du 24 décembre 1917.

[2] *Comptes rendus*, t. 165, 1917, p. 787.

La présente Note est consacrée à l'examen des équilibres invariants dans le même système, ils correspondent à l'équilibre de la solution en présence de trois phases solides.

I. *Phases solides :* SO^4Na^2, SO^4Am^2, *sel double.* — Nous avons déterminé les coordonnées de ce point triple en laissant refroidir lentement une solution saturée en présence de deux phases solides : SO^4Am^2, SO^4Na^2 et préparée vers 70°. Quand on atteint la température cherchée, la formation de la troisième phase solide, le sel double, avec dégagement de chaleur, entraîne un ralentissement du refroidissement et se traduit par une anomalie dans la courbe de refroidissement; la transformation achevée, le point figuratif de l'état de la solution se déplace sur la courbe d'équilibre du système monovariant à phases solides : SO^4Na^2, sel double, ou bien sur la courbe de l'autre système : SO^4Am^2, sel double, suivant les proportions relatives des deux sels en présence. Dans les deux cas, nous avons obtenu 59° pour le point que nous désignerons par A; ses coordonnées sont les suivantes :

		Centi-mol. dans 100g de solution.	
	T.	SO^4Am^2.	SO^4Na^2.
A........................	59°	27,25	11,75

II. *Phases solides :* SO^4Na^2, $SO^4Na^2, 10H^2O$, *sel double.* — Le point correspondant que nous désignons par D a été déterminé en refroidissant une solution saturée en présence des deux phases solides, SO^4Na^2, sel double. L'apparition de la troisième phase, facilitée par l'addition de petits cristaux hydratés, se manifeste à 26°. La transformation terminée, le système ne peut évoluer par refroidissement que dans une seule direction, celle de l'équilibre divariant caractérisé par les phases solides : $SO^4Na^2, 10H^2O$, sel double.

Remarquons que le point de transformation SO^4Na^2, $SO^4Na^2, 10H^2O$ se produit à 32°,3 sous la pression atmosphérique; l'introduction d'un constituant nouveau, le sulfate d'ammoniaque, dans le système en équilibre précédent, a donc pour effet d'abaisser le point de transformation de 32°,3 à 26°. Nous avons :

		Centi-mol. dans 100g de solution.	
	T.	SO^4Am^2.	SO^4Na^2.
D........................	26°	9,50	19,25

III. *Phases solides :* SO^4Am^2, *sel double, glace. Point* H_1. — Ce point triple a été trouvé à — 21° en procédant toujours par refroidissement; le mode opératoire inverse, c'est-à-dire par échauffement, ne donne pas de précision :

	T.	Centi-mol. dans 100g de solution. SO^4Am^2.	SO^4Na^2.
H_1......................	—21°	27,8	2,0

IV. *Phases solides : sel double,* $SO^4Na^2, 10H^2O$, *glace. Point* H_2. — Le point H_2 doit être très voisin du point H_1, car l'expérience ne nous a pas donné de différence sensible dans leurs coordonnées. Les écarts de ces coordonnées sont du même ordre de grandeur que les erreurs d'expérience.

Voici d'ailleurs les résultats obtenus en opérant toujours par refroidissement :

Mélange salin initial.	Température mesurée.	Température moyenne.
Sel double.........................	—21°,1	—21°
»	—20,9	
Sel double, $SO^4Na^2, 10H^2O$...........	—21,1	—21
» »	—20,9	
» »	—21,1	
Sel double, SO^4Am^2................	—21,1	—21,1
» »	—20	
» »	—21,1	
» »	—21,2	
$SO^4Am^2, SO^4Na^2, 10H^2O$.............	—21,3	—21,2
»	—21,2	

V. *Point cryohydratique : glace, sulfate d'ammoniaque.* — Nous avons profité de ces essais pour déterminer à nouveau la température de l'eutectique glace, sulfate d'ammoniaque, température mal déterminée. Guthrie et de Coppet ont donné respectivement pour cette valeur — 17° et — 19°,5, valeurs qui ne cadrent pas bien avec l'allure des courbes de solubilité.

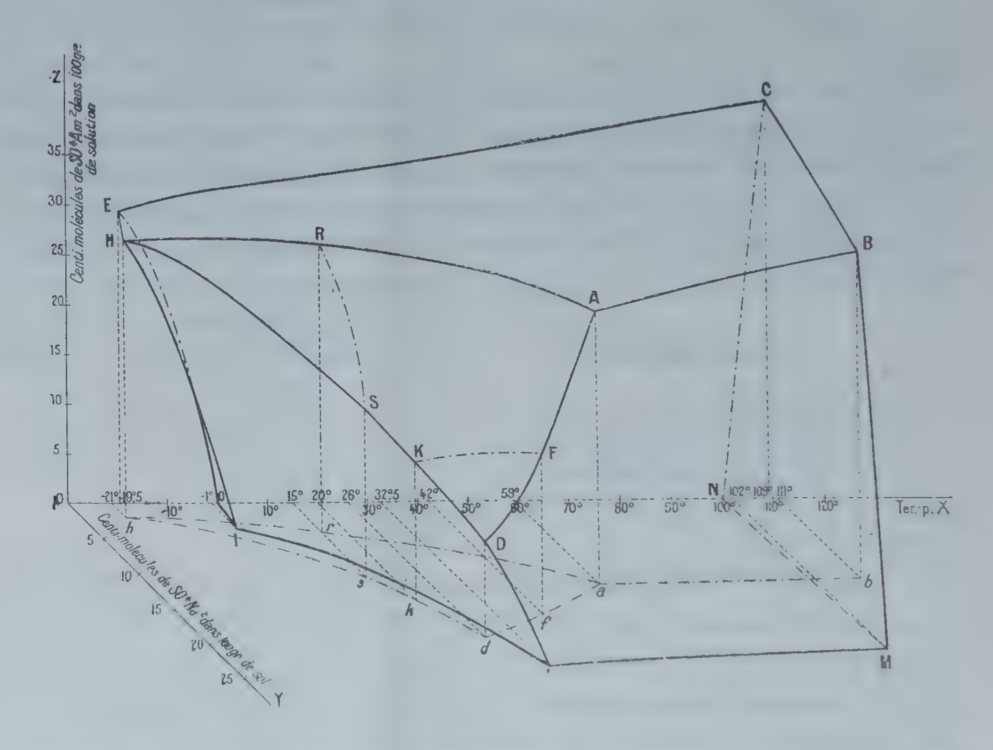
Nous avons trouvé les valeurs suivantes, qui nous conduisent comme moyenne à — 18° :

—18°,2	—18°.
—18	
—17,9	

La concentration de la solution est alors de 29 centièmes de molécule de sulfate dans 100g de solution.

Tous les détails de nos essais seront exposés ailleurs dans un Mémoire développé.

L'ensemble de nos résultats peut être représenté géométriquement par le solide de la figure ci-dessous. Les coordonnées suivant OX, OY et OZ



donnent respectivement la température, la concentration en centi-molécules de SO^4Na^2 dans 100g de la solution et la même concentration en SO^4Am^2 définie de la même façon.

Chacune des nappes, limitant le solide, représente les états d'équilibre de la solution vis-à-vis une phase solide.

Nappes.	Phases solides correspondantes.
EHABCE..............................	SO^4Am^2
HDAH..............................	sel double
HILDH..............................	$SO^4Na^2 10 H^2O$
ADLMBA..............................	SO^4Na^2
HHEOI..............................	glace

Enfin la nappe CBMNC est la surface des points d'ébullition de diverses solutions sous la pression atmosphérique.

Les lignes — · — · — représentent les projections des courbes, communes à deux nappes, dans le plan XOY.

GÉOLOGIE. — *Les grandes zones tectoniques de la Tunisie.* Note de MM. L. Gentil et L. Joleaud, présentée par M. Haug.

Nous avons précédemment montré que les nappes de charriage de l'Algérie se continuaient dans la *Tunisie septentrionale* et que leur zone frontale était formée, au sud-est de Tunis, par les djebels Bou Kournin, Ressas, Zaghouan et Fkirin ([1]).

Le long de la frontière algéro-tunisienne le régime des nappes s'étend, comme l'un de nous a pu s'en convaincre au cours de dix années d'exploration ([2]), depuis la Méditerranée jusqu'à la région de l'Ouenza, où M. Termier ([3]) découvrit les premiers charriages de la Berbérie.

Plus au Sud, au delà des djebels Bou Kadra et Bou Jaber commence, en Algérie, un pays d'architecture tabulaire où de molles ondulations, en forme de cuvettes synclinales, dessinent des reliefs (*dirs*) au-dessus des plaines de Tebessa.

La même allure tranquille se retrouve en Tunisie, au sud des djebels Hameïma et Slata : elle y donne naissance aux cuvettes des Ouartan, de Thala, de Sbiba et des Ouled Sendassen.

On observe également des cuvettes synclinales au sud-ouest des djebels Zaghouan et Fkirin, chez les Ouled Yahia et à Gafour. Les unes et les autres entourent un vaste plateau légèrement anticlinal, le plateau de Mactar (hamadas des Ouled Aoun, des Ouled Ayar et de la Kessera), qui s'étend d'Ellez au djebel Serdj.

C'est à cet ensemble de reliefs qu'il convient de réserver le nom de *Tunisie centrale* ([4]), il faut y voir le prolongement des Hauts Plateaux et des Hautes Plaines de l'Algérie.

Une nouvelle zone plissée relaye, vers l'est, le massif de l'Aurès (Atlas saharien) : elle occupe les régions de Feriana, Kasserin, Sbeïtla et Hadjeb el Aïoun, depuis les djebels Chambi, Semama et Meghila jusqu'à Chebika,

---

([1]) *Comptes rendus*, t. **165**, 1917, p. 365 et 506; t. **166**, 1918, p. 42.

([2]) L. Joleaud, *Comptes rendus Soc. géol. France*, 1914, p. 144, etc.

([3]) *Comptes rendus*, t. **143**, 1906, p. 137.

([4]) Pervinquière, *Étude géologique de la Tunisie centrale*, Paris, 1903.

à Gafsa, aux djebels Gart Hadid et Kechem Artsouma. Elle correspond à la *Tunisie méridionale* (¹).



Esquisse des grandes zones tectoniques de la Tunisie.

L'architecture tabulaire apparaît de nouveau entre Gafsa, oglet Jedra et la Skhira ; mais elle ne prédomine qu'au delà du chott el Djerid, dans le massif des Matmata. C'est la région que l'on désigne habituellement sous le nom d'*Extrême-Sud tunisien* (²) : elle peut être considérée comme une véritable dépendance du Sahara.

Ainsi en Tunisie, comme en Algérie et au Maroc, l'Atlas saharien appa-

(¹) Roux, *Bull. Soc. géol. France*, 4e série, t. 11, 1911, p. 249-284.

(²) A. Joly, *Bull. Soc. géogr. Alger*, 1908. — Pervinquière, *Bull. Soc. géol. France*, 4e série, t. 12, 1912, p. 143-193.

raît encadré par deux massifs résistants qui, en se rapprochant l'un de l'autre, ont donné naissance à une chaîne de montagnes de type jurassien (1).

L'origine des montagnes du nord de la Tunisie est toute différente. Deux ou trois nappes de charriage du type alpin, venues de l'emplacement actuel de la Méditerranée occidentale, s'y sont avancées à 150^{km} dans l'intérieur des terres. Leur ensemble forme une masse considérable, partiellement enrobée par la plus extérieure d'entre elles, la nappe triasique. Les vastes surfaces qu'occupe celle-ci, au sud-ouest de Bizerte, à l'ouest de Mateur, entre Schuiggui et Chaouach, vers Saint-Joseph-de-Thibar, à l'ouest du Kef, témoignent de l'ampleur des phénomènes orogéniques qui ont affecté la région.

Par contre, aucun lambeau de Trias ne semble exister dans la fenêtre des nappes qui laisse apparaître le plateau de Mactar, tandis que ce terrain affleure un peu partout à la périphérie de la région tabulaire. C'est ainsi que les marnes bariolées salifères existent dans la zone des nappes aux djebels Klab, ech Cheïd, Lorbes, Slata, Bou Jaber, et dans la région des plis jurassiens des djebels Chambi, Semama, Meghila, Trozza, Cherichira, Baten el Guern. Les lambeaux de Trias du Sud du plateau de Mactar se distinguent de ceux du Nord par leur situation tectonique normale dans l'axe des anticlinaux.

La distinction des quatre régions tectoniques de la Tunisie, Tunisie septentrionale, Tunisie centrale, Tunisie méridionale, Extrême-Sud tunisien, correspond exactement aux quatre zones orogéniques, géosynclinal méditerranéen, môle algérien, Atlas saharien, bouclier saharien, distinguées par l'un de nous (2) dans le Nord africain.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Nouvelle préparation des nitriles aliphatiques par catalyse.* Note de M. **Alphonse Mailhe.**

J'ai montré dans une Communication récente (3) qu'on pouvait préparer avec de très bons rendements les nitriles aromatiques, par action directe du gaz ammoniac sur les éthers-sels d'acides aryliques nucléaires et extranucléaires en présence d'un catalyseur déshydratant, comme la thorine par exemple, chauffé à une température de 470°-480°.

---

(1) Louis Gentil, *Le Maroc physique*, Paris, 1912, p. 127.
(2) Louis Gentil, *Le Maroc physique*, Paris, 1912, p. 127 et suiv.
(3) *Comptes rendus*, t. 166, 1918, p. 36.

La thorine n'est pas le seul catalyseur qui puisse effectuer cette réaction, et j'ai constaté que l'alumine précipitée permettait d'arriver au même résultat. Ainsi le benzoate d'éthyle $C^6H^5CO^2C^2H^5$ fournit sur ce catalyseur, chauffé à 480°-490° en présence du gaz ammoniac, un très bon rendement en benzonitrile. La seule différence dans l'allure des deux catalyseurs réside dans ce fait que l'oxyde de thorium fournit un dégagement gazeux, constitué surtout par de l'hydrogène, accompagné de très peu d'éthylène; avec l'alumine, au contraire, le dégagement permanent de gaz, qui a lieu pendant la réaction, est formé d'environ $\frac{2}{3}$ d'éthylène et $\frac{1}{3}$ d'hydrogène.

L'éther éthylique de l'acide métatoluique, $C^6H^4\langle{}^{CH^3\ (1)}_{CO^2C^2H^5\ (3)}$, se change également en présence d'alumine et de gaz ammoniac dans le nitrile métatoluique, $C^6H^4\langle{}^{CH^3\ (1)}_{CN\ (3)}$, qui bout à 210°-216°. Le rendement est presque total.

J'ai essayé d'appliquer la nouvelle méthode de préparation des nitriles, à la décomposition des éthers-sels aliphatiques, en présence de ces deux catalyseurs : thorine et alumine. La réaction commence encore ici vers 450°, mais elle est lente et incomplète. Elle a lieu très aisément vers 480°-490°, et la décomposition de l'éther-sel est alors sensiblement totale.

Lorsqu'on dirige, en même temps que du gaz ammoniac, de l'isovalérate d'isoamyle, $(CH^3)^2CH.CH^2CO^2C^5H^{11}$, qui bout à 185°, sur de l'oxyde de thorium, chauffé à 470°-480°, on constate un dégagement permanent de gaz formé presque entièrement d'hydrogène. Le liquide recueilli, séparé de l'eau, faiblement aldéhydique, soumis à la rectification, abandonne jusqu'à 100° une portion fortement aldéhydique, contenant de l'isovaléraldéhyde, puis le thermomètre monte rapidement jusqu'à 129° et laisse passer la majeure partie du liquide entre 129° et 133°. Cette fraction sent à la fois le nitrile et l'alcool amyliques. Elle est neutre. Soumise à l'hydrogénation en présence de nickel divisé, elle se change en majeure partie en un mélange d'isoamylamines, bouillant jusqu'à 220° (amines 1ª, 2ª et 3aire), caractérisées par la carbylamine et les chlorhydrates. Il reste une portion inchangée qu'on peut séparer après dissolution des amines à l'aide de HCl dilué. Le produit rectifié, soumis à l'action de l'alumine à 380°, fournit de l'amylène et de l'eau. C'était de l'isoamylalcool. La transformation de l'isovalérate d'amyle a donc lieu suivant l'équation

$$(CH^3)^2CH.CH^2CO^2C^5H^{11} + NH^3 = C^5H^{11}OH + H^2O + (CH^3)^2CH.CH^2CN.$$

L'isovalérate d'éthyle, qui bout à 134°, donne, dans les mêmes conditions que le précédent, un dégagement permanent de gaz formé surtout d'hydrogène et d'un peu d'éthylène. La surface du flacon où l'on recueille le liquide

transformé est tapissé de cristaux d'aldéhydate d'ammoniaque, et le produit liquide obtenu, séparé de l'eau, passe après enlèvement d'une faible portion de têtes, presque entièrement entre 128°-131°. Il est constitué par l'isovalérylnitrile à peu près pur.

La décomposition du même éther valérique, réalisée par le gaz ammoniac, au contact de l'alumine chauffée entre 480°-490°, fournit un gaz constitué par 60 pour 100 d'éthylène, et le liquide, après enlèvement de l'eau formée, bout en majeure partie entre 129°-131°, laissant un faible résidu qui cristallise immédiatement. Les cristaux formés sont des aiguilles soyeuses, fondant à 128°-129°. Elles sont constituées par l'amide isovalérique

$$(CH^3)^2CH.CH^2CONH^2.$$

On voit d'après cela que la réaction de l'ammoniac sur l'éther-sel qui fournit le nitrile est précédée de la formation de l'amide qui se dédouble à l'état naissant. Par contre, les cristaux d'aldéhydate d'ammoniaque, obtenus avec la thorine, ne se forment pas avec l'alumine.

Les éthers butyriques, $CH^3CH^2CH^2CO^2R$, se comportent comme les précédents, lorsqu'ils réagissent sur de la thorine ou de l'alumine, à 480°-490°, en présence de gaz ammoniac. Ils fournissent le nitrile butyrique, $CH^3CH^2CH^2CN$, bouillant à 118°-119°. Le butyrate d'éthyle fournit avec la thorine un gaz contenant $\frac{2}{3}$ d'hydrogène et $\frac{1}{3}$ d'éthylène, des cristaux d'aldéhydate d'ammoniaque, et la majeure partie du liquide recueilli, séparé de l'eau formée, est constituée par le nitrile butyrique. Avec les butyrates de propyle et d'isobutyle, le gaz contient peu de carbure éthylénique, lorsque la réaction est effectuée sur thorine. Au-dessus du point d'ébullition du nitrile, la faible portion qui reste dans le ballon à distiller cristallise par refroidissement, et les aiguilles soyeuses, bien essorées, fondent à 115°. Elles sont constituées par la butyramide

$$CH^3CH^2CH^2CONH^2.$$

Avec les éthers de l'acide propionique, on est conduit au même résultat. Les propionates d'isoamyle et d'isobutyle fournissent avec la thorine, en présence de gaz ammoniac, le propane nitrile. Le propionate d'éthyle, sur l'alumine, fournit un dégagement gazeux constitué par 70 pour 100 d'éthylène, le nitrile propylique, et quelques cristaux de propanamide, fondant à 78°-79°.

On voit que la méthode de formation directe des nitriles, par action du gaz ammoniac sur les éthers-sels, en présence de thorine et d'alumine, est tout à fait générale et s'applique aux éthers aryliques et aliphatiques.

MÉTÉOROLOGIE. — *Relation entre les variations barométriques et celles du vent au sol : application à la prévision.* Note [1] de M. G. Reboul.

On sait depuis fort longtemps que le baromètre descend très bas par grands vents et monte au contraire quand le vent est faible. Il suffit d'ailleurs de rapprocher l'une de l'autre les courbes d'un enregistreur de pression atmosphérique et d'un anémocinémographe pour être frappé des faits suivants :

1° Si, en un point, le vent au sol augmente, on constate que la pression diminue;

2° Si, au contraire, le vent au sol diminue, la pression augmente.

Je me propose d'établir le coefficient de probabilité de ces faits et de montrer, indépendamment de toute considération théorique, comment on peut en déduire certaines règles de prévision des variations barométriques.

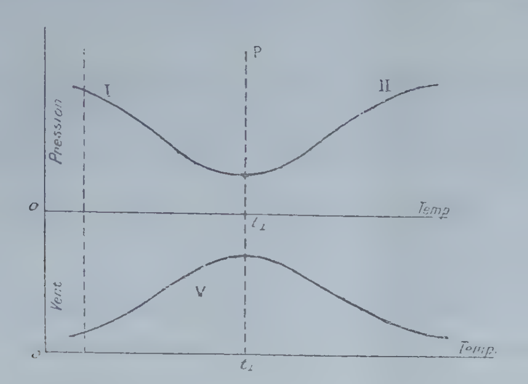
1° Reproduisons, l'un au-dessous de l'autre, les graphiques du baromètre et de l'anémocinémographe rapportés à la même échelle de temps. Sur ces graphiques, les intervalles pour lesquels les variations de la pression sont de sens contraire à celles de la vitesse du vent constituent les zones de cas favorables; ceux où les variations sont de même sens donneront les cas défavorables. Le nombre de cas sera proportionnel à la longueur de ces intervalles.

Voici résumés les résultats d'une année d'observations :

1915-1916. — Mois.	Cas favorables.	Cas défavorables.	Total.	Pourcentage des cas favorables.
Octobre et novembre	527	75	602	88
Décembre	331	55	386	83
Janvier	322	55	377	85
Février	381	80	461	82
Mars	562	58	620	90
Avril	532	68	600	88
Mai	523	97	620	84
Juin	522	78	600	87
Juillet	559	61	690	90
Août	442	65	507	87
Septembre	508	82	590	86
Octobre	557	63	620	89
Novembre	531	69	600	88
Total	6297	906	7203	87,4

(1) Séance du 14 janvier 1918.

Il résulte de cette statistique que, environ 8 fois sur 10, les variations du vent et de la pression seront grossièrement représentées par des courbes analogues à celles de la figure.



Les maxima ou minima du vent et de la pression ne coïncident pas toujours comme le représente la figure : sur 100 cas, par exemple, on en trouve 42 où la simultanéité a lieu, 37 pour lesquels la variation de pression avance sur celle du vent et 21 où le vent devance la pression.

Transposons dans l'espace les phénomènes dont nous avons observé la succession dans le temps, c'est-à-dire admettons que les variations qui se succèdent en un point sont semblables à celles qui, à un instant antérieur, étaient simultanément observées en une série de stations de la carte météorologique. Nous serons ainsi amené à des règles dont le coefficient de probabilité sera évidemment inférieur à celui des faits d'où nous les aurons déduites.

2° Les régions menacées par *la baisse* sont celles qui correspondent à la partie I de la figure, ce sont donc *les régions de la carte isobarique où la tendance barométrique est négative et la tendance anémométrique positive.* Les régions où l'on doit prévoir *la hausse sont celles où la tendance du baromètre est positive et celle de l'anémomètre négative* (partie II de la figure).

Il est facile de montrer que le coefficient de probabilité des prévisions qui seraient déduites des règles précédentes est d'autant plus faible que l'échéance de la prévision est plus éloignée ou que la surface embrassée par la perturbation sur la carte isobarique est elle-même plus petite. Soit, par exemple, une hausse ou une baisse barométrique de durée D, pour laquelle nous faisons une prévision à échéance E ; la tendance étant la variation qui s'est produite pendant les N heures qui ont précédé l'observation. Quand je fais l'hypothèse que la variation qui s'est produite dans les N heures précé-

dentes continuera pendant E heures suivantes, j'ai (N + E) chances sur D de me tromper; le coefficient de probabilité de la prévision sera

$$\left(1 - \frac{N + E}{D}\right).$$

Il s'ensuit donc que la méthode dite des *isallobares*, qui consiste à déterminer les trajectoires probables des zones de tendance barométrique, s'appliquera aux cas de perturbations de grande durée, par conséquent aux perturbations très accusées et occupant de vastes étendues.

Il semble que cette dernière méthode pourrait être complétée par la détermination de la trajectoire probable de la zone de tendance anémométrique; nous avons vu que, environ 8 fois sur 10, il y avait simultanéité ou avance des variations de la pression sur celles du vent, les variations du vent ne donneraient donc en général rien que n'auraient déjà montré celles de la pression barométrique.

3° On voit sur la figure que la baisse commence au temps t_0, c'est-à-dire au moment où le vent est le plus faible; quant à la hausse, elle commence à se manifester au temps t_1, c'est-à-dire au moment où le vent est fort. Il s'ensuit les règles suivantes ;

1° *Dans le voisinage d'une basse pression, les régions où les vents sont faibles sont celles que menace la baisse barométrique;*

2° *Dans le voisinage d'une haute pression, les régions où les vents sont forts sont celles où se produira la hausse du baromètre.*

Il suffit de feuilleter une collection de cartes isobariques à situation météorologique peu compliquée (par exemple une basse pression et une haute pression en présence) pour constater que ces règles sont assez souvent confirmées. Elles sont tout à fait insuffisantes lorsque la situation météorologique est complexe : leur principal inconvénient réside dans l'imprécision des termes « vents forts et faibles ».

Il est possible de déduire des faits précédents une méthode assez simple, d'un emploi pratique, qui nous a rendu depuis longtemps de grands services.

HISTOLOGIE. — *Mécanisme histologique de la formation de l'os nouveau au cours de la régénération osseuse chez l'homme*. Note de MM. **R. Leriche** et **A. Policard**, présentée par M. Roux.

Les circonstances nous ont permis de pouvoir étudier dans d'excellentes conditions le mécanisme histologique de la réparation osseuse chez l'homme après résections sous périostées, dans le traitement de traumatismes osseux de guerre.

Après résection osseuse sous périostée correcte, à partir du périoste, se développe un tissu conjonctif de bourgeonnement dans lequel on voit très rapidement se développer des aiguilles et des trabécules osseux. L'étude de ce tissu de régénération renseigne d'une manière précise sur le mode histologique de cheminement et de poussée de l'os nouveau.

La doctrine classique admet que la formation de l'os est le résultat de l'activité d'une couche dite *ostéogénique*. Suivant des modes encore mal définis, les cellules de cette couche sécréteraient l'os; une partie d'entre elles seraient englobées dans la substance osseuse de nouvelle formation et deviendraient cellules osseuses; les autres cellules disparaîtraient. L'os nouveau croît et pousse précédé de la couche ostéogénique qui l'engendre. Dans cette conception classique, le tissu osseux nouveau serait une sorte de néoplasie résultant essentiellement de l'activité de certains éléments cellulaires conjonctifs, les ostéoblastes.

Nos observations nous ont permis d'envisager ce phénomène d'une façon tout à fait différente.

La formation de la substance osseuse comporte, on le sait, deux stades essentiels. Il y a d'abord édification d'une substance d'un type spécial, d'aspect homogène et hyalin, *la substance préosseuse*. Dans un second stade, des sels calcaires infiltrent cette substance; cette calcification n'est pas une précipitation des sels terreux sous forme de cristaux microscopiques, mais une imprégnation colloïdale extrêmement complexe dont les détails restent à préciser.

Dans l'un et l'autre de ces stades, dans la formation de la substance préosseuse comme dans sa calcification, il ne nous est pas apparu que les cellules interviennent, tout au moins en jouant un rôle direct comme l'admet la théorie classique. Aucune figure histologique ne permet de penser qu'il y ait sécrétion de la substance préosseuse ou des sels calcaires.

Aucune non plus ne permet de penser que la substance préosseuse puisse résulter de la transformation de tout ou de partie du corps des cellules.

La formation de la substance préosseuse semble résider essentiellement dans une transformation progressive et envahissante de la substance fondamentale du tissu conjonctif. Celle-ci prend un aspect homogène, une réaction à tendances basophiles; il s'agit d'une sorte de transformation hyaline envahissante. Les faisceaux et les fibrilles conjonctives sont peu à peu noyés dans la substance préosseuse, homogène qui les rend invisibles. La substance osseuse de nouvelle formation se forme ici par un processus analogue à celui que von Korff a décrit pour la dentine et quelques types d'os. Toutes réserves faites pour certains points de détail et pour la terminologie de cet auteur, il nous apparaît que sa conception est beaucoup plus conforme à la réalité des faits que la théorie classique. La poussée osseuse périostique résulte d'une transformation métaplastique progressive de la substance fondamentale du tissu conjonctif jeune qui naît de la face profonde du périoste détaché dans certaines conditions. La substance fondamentale ainsi transformée en substance préosseuse subit une infiltration de sels calcaires suivant des processus très complexes qui n'apparaissent pas histologiquement liés, au moins directement, à l'activité des cellules environnantes.

Loin d'agir en tant qu'éléments sécréteurs de l'os, les cellules conjonctives juxta-osseuses (ostéoblastes des classiques) semblent au contraire représenter des agents de réaction contre l'envahissement et l'extension du processus de métaplasie osseuse. Les cellules semblent d'autant plus rares et d'apparences histologiques moins actives que la croissance est plus rapide et plus intense. Elles sont au contraire multipliées et d'apparences extrêmement actives dans les points où il y a ralentissement du processus d'ostéogenèse.

La régénération de l'os à partir du périoste se fait suivant un type histologique absolument identique à celui que l'un de nous a décrit dans les ostéomes musculaires traumatiques (¹). Dans les deux cas, il s'agit d'une transformation métaplastique progressivement envahissante de la substance fondamentale du tissu conjonctif, qui, entre autres modifications, présente la propriété de s'infiltrer de sels calcaires.

(¹) Policard et Desplas, *Contribution à l'étude anatomo-pathologique des ostéomes musculaires* (*Lyon chirurgical*, mai-juin 1917).

PHYSIOLOGIE. — *Sur l'olfaction*. Note de M. A. **Durand**, présentée par M. Henneguy.

Les théories actuellement admises sur la constitution de la matière et la comparaison, avec les phénomènes de l'olfaction, de certaines particularités de l'ionisation, nous induisent à proposer une explication des sensations olfactives, fondée sur les expériences et les observations suivantes :

Dès 1875, Coulier, par une expérience aujourd'hui classique, mais dont on ne pouvait alors saisir toute la portée, avait montré qu'il y avait, dans l'air, des centres de condensation pour la vapeur d'eau. Après lui, bien d'autres physiciens, Aitken, J.-J. Thomson, etc., confirmèrent la présence des *ions*, comme on les nomme actuellement.

Une étude plus complète révéla la présence d'ions de diverses dimensions. Langevin étudia les *gros ions*, contenus dans l'air ordinaire; Bloch montra qu'il y avait aussi d'autres *gros ions* dans l'air ayant passé sur du phosphore. Dans ce dernier cas, ne pourrait-on pas s'exprimer ainsi? *l'odeur du phosphore contient des ions;* c'est-à-dire que l'air ayant acquis l'odeur du phosphore acquiert, en même temps, le pouvoir de condenser plus facilement la vapeur d'eau.

Le fait est-il général? En d'autres termes, les émanations des corps odorants qui sont, par leur extrême ténuité, de l'ordre de grandeur des divers ions, gros ou petits, ont-elles le pouvoir de condenser la vapeur d'eau et de jouer, à cet égard, un rôle analogue à celui des ions? Pour répondre à cette question, voici l'expérience :

L'air est d'abord débarrassé, par filtration sur coton, des poussières et noyaux de condensation. Puis, si l'on recommence l'expérience de Coulier, mais en ayant soin de faire circuler cet air, rendu inactif, sur un corps odorant, tel que le musc ou le camphre, on constate que l'air, devenu odorant, acquiert, en même temps, le pouvoir de condenser la vapeur d'eau. En effet, amené dans le flacon de Coulier, il forme, sous l'action de la détente, un léger brouillard. Dès lors, il semble qu'on puisse se représenter le mécanisme olfactif de la façon suivante :

Les particules odorantes du musc et du camphre ont, comme les *ions*, le pouvoir de condenser la vapeur d'eau. Cette condensation est plus ou moins facile, suivant les dimensions des *ions odorants*. En tout cas, elle est favorisée, chez les animaux qui ont des mouvements respiratoires et chez l'homme, par le phénomène de l'inspiration (détente).

Ainsi, la sensation olfactive dépend des conditions suivantes que nous nous proposons de mieux examiner ultérieurement :

1° Présence, dans l'air, de centres, produits ou noyaux, propres à faciliter la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique (*ions odorants*) ;

2° État hygrométrique convenable ;

3° Refroidissement du courant d'air d'inspiration (phénomène de détente).

CHIMIE PHYSIOLOGIQUE. — *Sur la nécessité d'un accepteur d'hydrogène et d'un accepteur d'oxygène pour la manifestation des processus d'oxydo-réduction dans les liquides organiques d'origine animale et végétale.* Note de MM. **J.-E. Abelous** et **J. Aloy**, transmise par M. Armand Gautier.

M. Bach a montré, comme nous le rappelions dans une Note antérieure [1], que le lait de vache ne réduit les nitrates alcalins qu'à la condition qu'on ajoute à ce lait un corps oxydable, en l'espèce une aldéhyde. Nous avons pu constater que le lait se comportait de la même manière vis-à-vis du bleu de méthylène ou du sulfindigotate sodique. Pour obtenir le leucodérivé, la présence d'un accepteur d'oxygène est nécessaire. Nous avons également constaté, comme M. Bach, que le suc de pomme de terre ne réduit les nitrates ou les chlorates alcalins qu'en présence d'un tel accepteur.

Inversement, on peut démontrer la nécessité de la présence d'un accepteur d'hydrogène pour obtenir l'oxydation de l'aldéhyde salicylique.

Expériences. — I. 450$^{cm^3}$ de lait de vache, fraîchement trait et fluoré à 2 pour 100, sont divisés en trois lots de 150$^{cm^3}$: A, B, C.

Au lot A on ajoute seulement 15 gouttes d'aldéhyde salicylique; au lot B on ajoute, outre l'aldéhyde, 3^g de chlorate de sodium; et, dans le lot C, on remplace le chlorate par 10$^{cm^3}$ d'une solution de bleu de méthylène à 0^g,25 pour 1000.

Les trois flacons sont plongés dans un bain-marie à 60°. Dès que le bleu de méthylène est décoloré dans le flacon C, on agite les trois lots jusqu'à recoloration du bleu. Quand la décoloration se reproduit, on agite à nouveau et ainsi de suite jusqu'à ce que le lot C ne se décolore plus ou ne se décolore qu'avec une extrême lenteur, résultat qui est obtenu au bout de 2 heures et demie à 3 heures. On arrête alors l'expérience et l'on extrait l'acide salicylique. Les titrages acidimétriques et colorimétriques donnent des résultats concordants :

---

[1] *Comptes rendus*, t. 165, 1917, p. 270.

	Acide salicylique.
	g
A (lait seul)................................	0,022
B (lait avec chlorate)........................	0,045
C (lait avec bleu de méthylène)................	0,119

La quantité considérable d'acide salicylique fournie par le troisième lot est susceptible de deux explications : ou bien, par l'agitation à l'air, l'accepteur d'hydrogène se reforme incessamment (ce qui ne peut avoir lieu pour le chlorate), ou bien, par cette même agitation, le leucodérivé abandonne l'hydrogène qu'il avait fixé et, cet hydrogène décomposant l'oxygène indifférent (O^2) de l'air pour former de l'eau, l'autre atome de cet oxygène se porte sur l'aldéhyde pour l'oxyder. L'oxygène passif a été transformé en oxygène actif.

La faible oxydation qui s'est manifestée dans le lot A (lait seul) semble indiquer qu'il existe dans le lait, tout au moins en petites quantités, un accepteur d'hydrogène de nature inconnue. Nous avons essayé de l'éliminer en précipitant la caséine par un acide dilué et en soumettant cette caséine à des lavages répétés.

II. 500^{cm^3} de lait de vache, fraîchement trait et écrémé, sont traités par de l'acide chlorhydrique à 1 pour 100, jusqu'à précipitation de la caséine. Le lactosérum n'a aucune action oxydo-réductrice. Le précipité de caséine est lavé à l'eau, jusqu'à ce que le liquide de lavage ne réduise plus la liqueur de Fehling. La caséine est alors délayée dans de l'eau à laquelle on ajoute du carbonate de sodium jusqu'à réaction alcaline persistante. On fait deux lots de 180^{cm^3} chacun, A et B. Ces deux lots sont additionnés de 3^g de fluorure de sodium et de 15 gouttes d'aldéhyde salicylique. Au lot B on ajoute 10^{cm^3} de la solution de bleu de méthylène. Après un séjour de 3 heures au bain-marie à 60°, durant lequel les deux flacons étaient agités chaque fois que le bleu était décoloré, le dosage de l'acide salicylique a donné les résultats suivants :

	Acide salicylique.
A (caséine seule)......................	$0^g,010$
B (caséine avec bleu de méthylène).....	$0^g,076$

Ainsi, pour une oxydation insignifiante dans A, nous obtenons dans B, grâce à l'addition de bleu de méthylène, un chiffre relativement considérable d'acide salicylique. L'importance de l'accepteur d'hydrogène paraît évidente.

Il en est de même pour le suc d'expression de pomme de terre. Ce suc

tel quel n'oxyde pas du tout l'aldéhyde salicylique. Additionné au contraire de chlorate de potassium il l'oxyde.

A. 250^{cm^3} de suc de pomme de terre et 1^g d'aldéhyde salicylique,

B. 250^{cm^3} de suc de pomme de terre et 1^g d'aldéhyde salicylique, plus 3^g de chlorate de potasse.

Les deux lots sont laissés au bain-marie à 40° pendant 20 heures.

	Acide salicylique trouvé.
A.	0^g
B.	$0^g,130$

En résumé :

Étant donné que la réduction des nitrates en nitrites, des chlorates en chlorures, des matières colorantes en leucobases par les liquides et extraits organiques de nature végétale ou animale ne peut se faire que par l'intervention de l'hydrogène à l'état naissant et cet hydrogène ne pouvant provenir que de la décomposition de l'eau, nous devons admettre l'existence d'un agent capable de décomposer l'eau en présence d'un accepteur d'hydrogène et d'un accepteur d'oxygène. En l'absence de l'un ou de l'autre les processus d'oxydo-réduction n'ont plus lieu. Ils sont tous deux indispensables. Quant à la nature de cet agent nos expériences nous permettent d'ores et déjà de dire qu'il *s'agit bien d'un ferment soluble*.

PHYSIQUE PHYSIOLOGIQUE. — *Contribution à l'étude des commotions de guerre*. Note [1] de M. **Marage**, présentée par M. R. Bourgeois.

Les explosifs puissants employés dans la guerre actuelle ont produit des phénomènes cliniques qu'il s'agit d'expliquer.

Je vais examiner les causes et les effets produits, ce qui permettra de donner une explication des phénomènes observés.

Voici les résultats d'expériences exécutées : d'une part, à la poudrerie de Sevran avec des charges explosives contenues dans des sacs ou dans des

[1] Séance du 14 janvier 1918.

caisses [1]; d'autre part, au champ de tir de M. Schneider à Harfleur avec des obus chargés en explosif [2].

I. *Vitesses des ondes de choc.* — *a.* Les vitesses de l'onde sont au départ de l'ordre de grandeur de 2000^m à 3000^m, suivant le poids et la nature de l'explosif employé.

b. Ces vitesses diminuent très vite et à 30^m de distance elles ne sont plus que de 400^m environ.

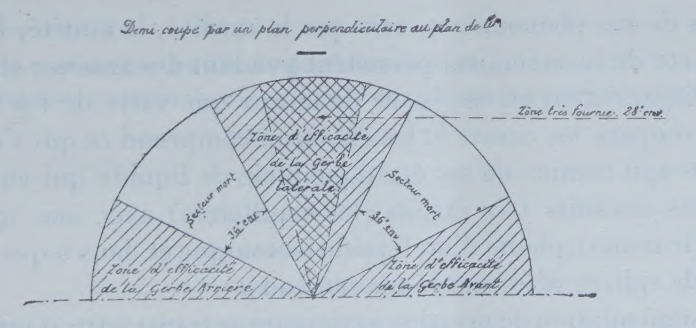
c. Il en résulte des augmentations de pressions, qui sont de l'ordre de grandeur de 150^{kg} à 300^{kg} par centimètre carré.

d. Ces pressions, comme les vitesses, diminuent très rapidement et à 20^m elles sont de 2^{kg} à 3^{kg}; à 50^m ou 60^m elles sont pratiquement nulles, bien qu'à 1300^m du point d'éclatement on ait pu enregistrer une surpression de 1^{mm} de mercure.

II. *Répartition des ondes de choc.* — *a.* Les expériences de Sevran faites sur des charges explosives ont fait ressortir une répartition uniforme des ondes de choc autour du centre d'explosion.

b. Il n'en est pas de même avec les obus explosifs : les résistances inégales qu'offrent à l'expansion des gaz l'ogive, le corps cylindrique et le culot de l'obus, conduisent à une inégale répartition des ondes de choc.

C'est ce qu'on a constaté expérimentalement à Harfleur sur des obus de 75. La figure ci-dessous montre que les éclats sont tous renfermés dans un



cône avant, un cône arrière, et une gerbe latérale annulaire dont la partie centrale, 28° environ, est la plus fournie.

---

(1) LHEURE, *Étude des effets à distance des explosions* (*Mémorial des Poudres et Salpêtres*, t. 13).

(2) En collaboration avec M. Métivier, ingénieur.

Les ondes de choc doivent suivre les mêmes répartitions et elles ont leur condensation maximum dans la gerbe latérale annulaire qui renferme les trois quarts des éclats et qui constitue ce qu'on appelle le *coup de hache*.

Les secteurs morts qui se trouvent dans les intervalles des gerbes actives correspondent à des ondes de dépression : à côté des ondes de choc fortement condensées naissent des ondes de dilatation.

Naturellement en pratique le phénomène est compliqué par la présence des obstacles naturels et artificiels ainsi que par l'enfoncement plus ou moins grand de l'obus dans le sol.

Faits d'ordre clinique. — 1. On sait combien la surface du cerveau est sensible puisque les soldats qui ont été trépanés et dont une faible surface du cerveau n'est plus protégée par le tissu osseux ne peuvent plus être renvoyés sur la ligne de feu, car des commotions mortelles se produiraient.

2. Quand un groupe de combattants se trouve dans la zone de 60^{m} de l'explosion d'un obus de gros calibre, les phénomènes de commotion observés sont essentiellement variables [1] :

a. Les uns meurent sans aucune blessure apparente.

b. Les autres présentent des phénomènes de commotion intense, sans blessure apparente : perte de connaissance immédiate, puis perte de la mémoire, de l'équilibre, de la vue, de l'audition, de la parole ; à ces phénomènes s'ajoutent toujours des maux de tête excessivement intenses.

Certains de ces phénomènes, tels que la surdité, la mutité, les maux de tête, la perte de la mémoire, persistent pendant des années; chez d'autres sujets ils disparaissent en un espace de temps qui varie de 1 à 8 semaines.

Si l'on compare les causes et les effets, on comprend ce qui s'est produit.

Le corps agit comme un sac élastique plein de liquide qui communiquerait par des conduits très étroits (les capillaires) avec une sphère indéformable (le crâne), pleine d'un liquide isotonique et dans lequel baignerait une seconde sphère déformable (le cerveau).

Toute augmentation de pression extérieure se transmettrait intégralement à la sphère déformable intérieure si le liquide ne trouvait pas ces obstacles naturels à la transmission des pressions et si ces augmentations de pression

---

(1) Pour les décrire les soldats se servent d'expressions très caractéristiques. Les uns disent : « j'ai été étouffé » (onde condensante). Les autres : « j'ai été comme vidé » (onde dilatante).

n'étaient pas très courtes (ordre de grandeur, le $\frac{1}{100}$ de seconde). Ces obstacles constituent un véritable frein.

On comprend également pourquoi les phénomènes observés sont si variables, cela dépend de la partie de la zone explosive dans laquelle se trouvent les combattants.

Le mot *affaire de chance* doit donc être remplacé par *affaire de zone.*

Conclusions. — La commotion [1] de guerre provient de pressions énormes et très courtes qui agissent sur toute la surface du corps et sont transmises par les liquides de l'organisme à la substance corticale du cerveau contenu dans un vase indéformable : le crâne.

Naturellement, si le crâne n'avait pas de résistance, les pressions se transmettraient directement au cerveau par sa surface : c'est ce qui se présente chez les lapins et les cobayes, sur lesquels on a expérimenté.

Donc les appareils introduits dans le conduit auditif peuvent protéger le tympan, mais ils seront absolument inefficaces contre les commotions, et la surdité par commotion ne se fait pas par l'oreille.

A 16 heures et quart l'Académie se forme en comité secret.

La séance est levée à 17 heures.

É. P.

---

[1] J'appelle *commotion* les lésions produites dans un point du système nerveux, soit central (commotion cérébrale), soit périphérique (commotion labyrinthique).